



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di laurea magistrale in Ingegneria Meccanica
Dipartimento di ingegneria industriale e scienze matematiche

Progettazione e prototipazione di una macchina per il riciclo di fibre prepregs
Machinery designing and prototyping for prepregs fibers recycling

Relatore:

Prof. Matteo Claudio Palpacelli

Correlatori:

Ing. Roberto Specchi

Ing. Valerio Alessi

Tesi di laurea di:

Riccardo Coloccini

Anno accademico 2018/2019

Indice	
Abstract	6
1. Definizione di materiale composito	7
1.1 Come vengono classificati i composti?	7
1.2 Fibre avanzate	10
1.2.1 Fibre di vetro	10
1.2.2 Fibre di carbonio e grafite	10
1.2.3 Fibre aramidiche	11
1.2.4 Fibre di boro	12
1.2.5 Altre fibre	13
1.3 Composizione della matrice	14
1.3.1 Polimeri	15
1.3.1.1 Polimeri termoindurenti e termoplastici	15
1.3.2 Proprietà del polimero di importanza per il composito	16
1.3.3 Materiali a matrice polimerica comuni	18
1.3.3.1 Resina poliestere	18
1.3.3.2 Resine epossidiche	19
1.3.3.3 Altri polimeri termoindurenti	21
1.3.2 Metalli	22
1.4 Prepregs	23
2 Progetto Circe	28
2.1 Economia Circolare	28
2.2 Il problema del rifiuto prepreg	29
2.3 La proposta LIFE-CIRCE	30
2.3.1 I partner	31
2.3.2 Gli utilizzi del prepreg riciclato da parte dei partner	33
2.3.2.1 Compositi a matrice di carboidrati (CCM) per dischi freno ad alte prestazioni	33
2.3.2.2 Fabbricazione di dispositivi di protezione individuale (DPI)	34
2.3.2.3 Produzione e test di nervature di rinforzo per cappe e parti in carbon look (HPC) 35	
3 Descrizione della linea produttiva	36
3.1 Definizione input e output della linea	37
3.2 Layout della linea	39
3.3 Dimensionamento dello sfrido	41
3.3.1 Tempi e costi	45
3.3.1.1 Tempi	45

3.3.1.2	Costi.....	48
3.3.1.2.1	Costo legato all'usura dell'utensile	48
3.3.1.2.2	Costo della manodopera	51
3.3.1.2.3	Costo dell'energia elettrica	52
3.3.1.2.4	Costo di set-up	52
4	La macchina spellicolatrice	56
4.1	Il primo prototipo.....	57
4.1.1	Analisi dei risultati	59
4.2	Il prototipo 2	60
4.2.1	Il telaio.....	61
4.2.2	L'asse fisso motore	65
4.2.2.1	L'ingranaggio elicoidale	66
4.2.2.2	L'ingranaggio di sincronismo a denti dritti	67
4.2.2.3	L'ingranaggio di trasferimento a denti dritti	68
4.2.3	L'asse mobile motore	69
4.2.4	L'asse fisso condotto.....	70
4.2.5	L'asse mobile condotto.....	71
4.2.6	La movimentazione	71
4.2.7	L'aspirazione	72
4.2.8	Funzionamento della macchina.....	72
4.2.9	Analisi delle criticità.....	74
4.3	Il prototipo 3	75
4.3.1	Il telaio.....	76
4.3.2	L'asse fisso motore	78
4.3.3	L'asse mobile motore	79
4.3.4	Gli assi condotti	80
4.3.5	La movimentazione	80
4.3.5.1	Giunto Oldham.....	85
4.3.6	L'aspirazione	87
4.3.7	Funzionamento della macchina.....	89
4.3.8	Set up	90
4.3	Analisi della produttività della macchina	92
4.4	Dimensionamento del motore della macchina spellicolatrice.....	93
4.5	Scelta delle boccole.....	105
5	Nastro trasportatore	107
5.1	Telaio	107

5.2	Gruppo spalle	108
5.3	Rulli di tensionamento	111
5.4	Scelta del nastro.....	111
5.5	Dimensionamento del tamburo motore.....	118
5.6	Analisi delle velocità.....	120
5.7	Scelta del motore e del riduttore.....	121
6	Conclusioni.....	125
7	Bibliografia	133
8	Ringraziamenti	134

Abstract

Questo elaborato si propone di seguire passo passo la progettazione di alcuni componenti fondamentali di una linea di produzione dedicata al riciclo del materiale composito pre-impregnato in fibra di carbonio derivante dagli sfridi di lavorazione dell'azienda Hp Composites. In particolare, sono analizzati progettazione, scelte tecniche e dimensionamento dei componenti di una macchina "spellicolatrice" destinata alla rimozione della pellicola protettiva del materiale pre-preg (operazione fondamentale ai fini del corretto recupero del materiale). Trova spazio in questo lavoro anche un'analisi sulla valutazione della convenienza ad effettuare una fase di taglio preliminare dello sfrido in modo da renderlo più facilmente processabile alla macchina spellicolatrice. A completamento dell'elaborato viene svolta la progettazione e il dimensionamento di un nastro trasportatore destinato alla movimentazione del materiale pre-preg lungo l'intera linea produttiva.

1. Definizione di materiale composito

La parola "composito" significa fusione di due o più parti distinte". Pertanto, un materiale avente due o più materiali o fasi costituenti distinte può essere considerato un materiale composito. Tuttavia, si riconoscono materiali come composti solo quando le loro fasi costituenti hanno proprietà fisiche significativamente diverse, e quindi le proprietà composite sono notevolmente diverse dalle proprietà costituenti. Ad esempio, i metalli comuni contengono quasi sempre impurità o elementi di lega indesiderati; le materie plastiche generalmente contengono piccole quantità di riempitivi, lubrificanti, assorbitori di ultravioletti e altri materiali per motivi commerciali come economia e facilità di lavorazione, ma questi generalmente non sono classificati come composti. Nel caso dei metalli, le fasi costituenti hanno spesso proprietà quasi identiche (ad es. Modulo di elasticità), le fasi non sono generalmente fibrose e una delle fasi è solitamente presente in frazioni di piccolo volume. Sebbene i materiali plastici che sono riempiti a fini di costo e contengano piccole quantità di additivi siano composti, non devono essere considerati tali se le loro proprietà fisiche non sono fortemente influenzate dagli additivi. Pertanto, la classificazione di determinati materiali come composti spesso si basa su casi in cui si verificano cambiamenti significativi della proprietà a seguito della combinazione di componenti e questi cambiamenti di proprietà saranno generalmente più evidenti quando una delle fasi è in forma piastrinica o fibrosa, quando il volume la frazione è maggiore del 10% e quando la proprietà di un componente è molto maggiore (~ 5 volte) dell'altro.

1.1 Come vengono classificati i composti?

I compositi possono essere classificati in funzione della geometria del rinforzo - particolato, fiocco e fibre (Figura 1.1) - o in base al tipo di matrice - polimero, metallo, ceramica e carbonio.

- ***Particulate composite*** sono costituiti da particelle immerse in matrici come leghe e ceramiche. Di solito sono isotropi perché le particelle vengono aggiunte casualmente. I compositi in particelle presentano vantaggi come una maggiore resistenza, una maggiore temperatura operativa, resistenza all'ossidazione, ecc. Esempi tipici includono l'uso di particelle di alluminio nella gomma; particelle di carburo di silicio in alluminio; e ghiaia, sabbia e cemento per fare cemento.

- ***Flake composite*** sono costituiti da rinforzi piatti delle matrici. I materiali tipici di una bottiglia sono vetro, mica, alluminio e argento. I flake composites offrono vantaggi quali un elevato modulo di flessione fuori piano, maggiore resistenza e basso costo. Tuttavia, non possono essere orientati facilmente e solo un numero limitato di materiali è disponibile per l'uso.

- I ***compositi in fibra*** sono costituiti da matrici rinforzate da fibre corte (discontinue) o lunghe (continue). Le fibre sono generalmente anisotropiche e gli esempi includono carbonio e aramidi. Esempi di matrici sono resine come resina epossidica, metalli come alluminio e ceramiche come silicato di calcio-alluminio. Le unità fondamentali del composito a matrice continua di fibre sono le lamelle di fibre unidirezionali o tessute. Le lamelle sono impilate una sopra l'altra con varie angolazioni per formare un laminato multidirezionale.

- I **nanocompositi** sono costituiti da materiali della scala dei nanometri (10^{-9} m). La condizione da rispettare affinché un materiale possa essere classificato come nanocomposito è che uno dei componenti sia inferiore a 100 nm.

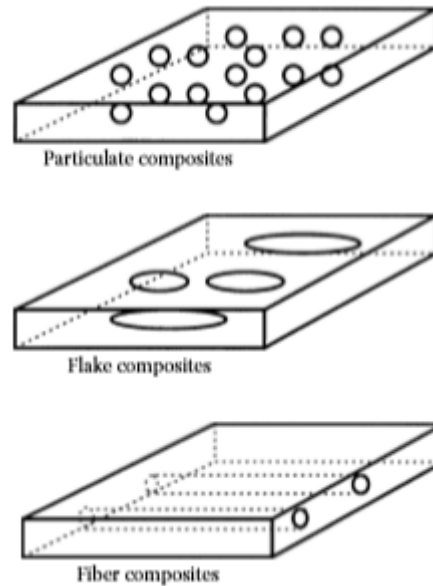


Fig. 1.1- Tipi di compositi classificati in funzione della geometria del rinforzo

Generalmente, i materiali compositi avanzati hanno componenti sulla microscala (10^{-6} m). Avendo componenti su scala nanometrica, la maggior parte delle proprietà del materiale composito risultante sono migliori di quelle che corrispondono a componenti su microscala. Non tutte le proprietà dei nanocompositi sono migliori; in alcuni casi, la tenacità e la forza d'impatto possono diminuire. Le applicazioni dei nanocompositi includono applicazioni di imballaggio nel settore militare in cui i film di nanocompositi mostrano ad esempio un elevato modulo elastico.

1.2 Fibre avanzate

La grande maggioranza dei materiali è più forte e più rigida nella forma fibrosa che come materiale sfuso. Un elevato rapporto di aspetto delle fibre (rapporto lunghezza-diametro) consente un trasferimento molto efficace del carico attraverso i materiali della matrice alle fibre, sfruttando così le loro eccellenti proprietà.

1.2.1 Fibre di vetro

Le fibre di vetro sono le più comuni tra tutte le fibre di rinforzo per i compositi a matrice polimerica. I principali vantaggi delle fibre di vetro sono il basso costo e l'elevata resistenza. Tuttavia, le fibre di vetro hanno una scarsa resistenza all'abrasione, che riduce la loro resistenza. Presentano inoltre una scarsa adesione ad alcune resine a matrice polimerica, in particolare in presenza di umidità. Per migliorare l'adesione, la superficie della fibra di vetro viene spesso trattata con sostanze chimiche chiamate agenti di accoppiamento (principalmente silani). Le fibre di vetro hanno anche un modulo più basso rispetto alle altre fibre di rinforzo avanzate come Kevlar, carbonio e boro.

1.2.2 Fibre di carbonio e grafite

Le fibre di carbonio/grafite sono il rinforzo predominante ad alta resistenza e ad alto modulo utilizzato nella fabbricazione di compositi a matrice polimerica ad alte prestazioni. Il loro uso sta crescendo rapidamente a causa di una significativa riduzione del loro prezzo negli anni '90 e di un aumento della loro disponibilità. Oltre alle applicazioni aerospaziali, vengono sempre maggiormente utilizzate su articoli sportivi, automobilistici, infrastrutture civili, petrolio offshore e altre applicazioni di consumo. Nella struttura della grafite, gli atomi di carbonio sono disposti sotto forma di strati esagonali con un impacchettamento molto denso nei piani degli strati. Il legame ad alta resistenza tra gli atomi di carbonio nel piano dello strato provoca un modulo di resistenza a rottura estremamente elevato, mentre dal

debole legame di tipo van der Waals tra gli strati vicini ne deriva uno più basso in quella direzione. A rigore, il termine "fibre di grafite" è un termine improprio perché non esiste una vera struttura cristallina di grafite nelle fibre. Il termine "fibra di grafite" viene utilizzato per descrivere le fibre che hanno un contenuto di carbonio superiore al 99%, mentre il termine "fibra di carbonio" descrive le fibre con un contenuto di carbonio dell'80-95%. Il contenuto di carbonio è una funzione della temperatura di trattamento termico.

Property, units	Precursor		
	PAN	Pitch	Rayon
Tensile strength, MPa	1925–6200	2275–4060	2070–2760
Tensile modulus, GPa	230–595	170–980	415–550
Density, g/cm ³	1.77–1.96	2.0–2.2	1.7
Elongation, %	0.4–1.2	0.25–0.7	—
Coefficient of thermal expansion			
Axial, 10 ⁻⁶ /°C	-0.75 to -0.4	-1.6 to -0.9	—
Transverse, 10 ⁻⁶ /°C	7–10	7.8	—
Thermal conductivity, W/mK	20–80	400–1100	—
Fiber diameter, μm	5–8	10–11	6.5

Fig. 1.2 - Proprietà delle fibre di carbonio

1.2.3 Fibre aramidiche

Vari tipi di fibre polimeriche (ad es. Nylon, poliestere, rayon) sono state usate per molti anni come rinforzi per pneumatici di automobili, palloncini, grandi dirigibili, armature e tessuti rivestiti di gomma. Le fibre polimero-aramidiche (Kevlar) furono introdotte per la prima volta nel 1971. I polimeri che formano le fibre di amide, cioè le poliammidi aromatiche, sono prodotti da una soluzione di policondensazione di diamine e alogenuri diacidi a basse temperature. Le proprietà della fibra possono essere modificate usando additivi per solventi, variando le condizioni di filatura e usando i trattamenti termici post-filatura. Le fibre di kevlar possiedono proprietà uniche. La resistenza alla trazione e il modulo sono sostanzialmente più alti e l'allungamento delle fibre è significativamente inferiore per le fibre di Kevlar rispetto ad altre fibre organiche. Le fibre di kevlar presentano scarse caratteristiche

di compressione, con una resistenza alla compressione pari a un ottavo della resistenza a trazione. Ciò deriva dalla loro struttura anisotropica, che determina un cedimento, una deformazione e un attorcigliamento locali piuttosto facili della fibra in compressione. Non sono fragili come le fibre di vetro o di grafite e possono essere facilmente tessute su telai di tessuto convenzionali.

Property, units	Kevlar 29	Kevlar 49	Kevlar 129	Kevlar 149
Diameter, μm	12	12	—	—
Density, g/cm^3	1.44	1.44	1.44	1.44
Tensile strength, MPa	2760	3620	3380	3440
Tensile modulus, GPa	62	124	96	186
Elongation, %	3.4	2.8	3.3	2.5
Coefficient of thermal expansion (0–100°C), $\text{m/m/}^\circ\text{C}$				
In axial direction	-2×10^{-6}	-2×10^{-6}	-2×10^{-6}	-2×10^{-6}
In radial direction	60×10^{-6}	60×10^{-6}	—	—

Fig. 1.3 - Proprietà delle fibre di Kevlar

1.2.4 Fibre di boro

I filamenti di boro sono prodotti mediante deposizione chimica da vapore (CVD) dalla riduzione del tricloruro di boro (BCl_3) con idrogeno su un substrato di monofilamento di tungsteno o carbonio. La resistenza alla trazione dei filamenti di boro-tungsteno è migliorata costantemente negli ultimi anni da una media di meno di 2750 MPa a oltre 3445 MPa.

Property, units	Fiber Diameter		
	100 μm	140 μm	200 μm
Tensile strength, MPa	3450	3450	3450
Tensile modulus, GPa	400	400	400
Coefficient of thermal expansion, $\text{m/m/}^\circ\text{C}$	4.9×10^{-6}	4.9×10^{-6}	4.9×10^{-6}
Density, g/cm^3	2.61	2.47	2.39

Fig. 1.4 - Proprietà delle fibre di Boro (con anima di tungsteno)

1.2.5 Altre fibre

La necessità di fibre di rinforzo ad alta temperatura ha portato allo sviluppo di fibre ceramiche. Le fibre ceramiche combinano alta resistenza e modulo elastico, resistenza alle alte temperature e una generale resistenza agli attacchi ambientali. Le fibre di allumina e di carburo di silicio sono tra le fibre ceramiche importanti. Le fibre di allumina commercializzate da Du Pont (E.I. Du Pont de Nemours & Co.) con il nome commerciale "Fiber FP" sono un filo continuo di allumina con una densità teorica del 98%. Queste fibre sono prodotte dalla filatura di una sospensione acquosa e da una cottura a due fasi. Una caratteristica eccellente di Fiber FP è la sua capacità di mantenere un'elevata resistenza alle alte temperature, resistono fino a circa 1370 ° C. Le fibre di carburo di silicio mantengono una resistenza alla trazione ben superiore a 650 ° C. Le fibre di allumina e SiC sono adatte per rinforzare matrici metalliche, in cui le fibre di carbonio e boro presentano reattività avverse. Inoltre, l'allumina ha una resistenza intrinseca all'ossidazione che è desiderabile in applicazioni come le pale delle turbine a gas.

Property, units	Fiber		
	Alumina (Fiber FP)	SiC (CVD)	SiC (Pyrolysis)
Diameter, μm	20 \pm 5	140	10-20
Density, g/cm^3	3.95	3.3	2.6
Tensile strength, MPa	1380	3500	2000
Tensile modulus, GPa	379	430	180

Fig. 1.5 - Proprietà delle ceramiche

Fibre di polietilene (HPPE) ad alte prestazioni: le fibre ultrastrong e ad alto modulo possono essere prodotte dalla molecola di polietilene. A tal fine, un polietilene ad altissimo peso molecolare (UHMW-PE) è disciolto in un solvente, filato attraverso una filiera e raffreddato per ottenere filamenti. Le fibre PE così ottenute hanno catene molecolari molto lunghe, orientate e cristallizzate nella direzione della fibra, che insieme conferiscono proprietà

eccezionali alle stesse. Queste fibre sono chiamate fibre di polietilene ad alte prestazioni (HPPE), polietilene ad alto modulo (HMPE) o polietilene a catena estesa (ECPE).

Diameter, μm	38
Density, g/cm^3	0.97
Tensile strength, MPa	2180–3600
Tensile modulus, GPa	62–120
Elongation, %	2.8–4.4

Fig. 1.6 - Proprietà delle fibre di HPPE

L'assorbimento ad alta energia delle fibre di HPPE le rende idonee all'uso in applicazioni di protezione balistica. I compositi a base di fibre di HPPE funzionano eccezionalmente bene contro gli impatti ad alta velocità come quelli prodotti dai colpi di fucile e dalle onde d'urto di un'esplosione. Questo perché l'impatto ad alta velocità produce un elevato carico di deformazione sul composito, ma la resistenza e la rigidità delle fibre PE aumentano ad alta velocità di deformazione.

1.3 Composizione della matrice

Le fibre, a causa delle loro piccole dimensioni in sezione trasversale, non possono essere caricate direttamente. Inoltre, le fibre, agendo da sole, non possono trasmettere carichi dall'una all'altra per poter condividere un carico. Ciò limita fortemente il loro uso diretto in applicazioni di ingegneria portante. Questa limitazione viene superata incorporandole in un materiale matrice per formare un composito. La matrice lega la fibra: insieme, trasferisce i carichi tra di loro e li protegge da attacchi ambientali e danni dovuti alla manipolazione. La matrice ha una forte influenza su diverse proprietà meccaniche del composito, come modulo trasversale e resistenza, proprietà di taglio e proprietà di compressione. Il materiale della matrice spesso, però, limita la temperatura di utilizzo di un composito.

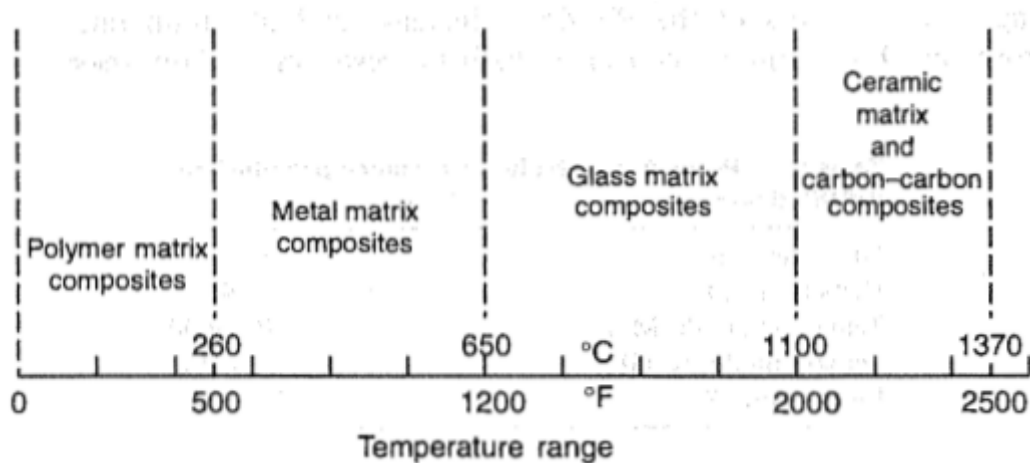


Fig. 1.7 – Range di temperatura nei quali i compositi con differenti matrici possono essere utilizzati

1.3.1 Polimeri

I polimeri (comunemente chiamati materie plastiche) sono la materia matrice maggiormente utilizzata per i compositi di fibre. I loro principali vantaggi sono basso costo, facile lavorabilità, buona resistenza chimica e basso peso specifico. D'altra parte, bassa resistenza, basso modulo e basse temperature di esercizio ne limitano l'uso. Si degradano anche per esposizione prolungata alla luce ultravioletta e ad alcuni solventi.

1.3.1.1 Polimeri termoindurenti e termoplastici

Secondo la loro struttura e comportamento, i polimeri possono essere classificati come termoplastici o termoindurenti. I polimeri che si ammorbidiscono o si sciolgono al riscaldamento, chiamati polimeri termoplastici, sono costituiti da molecole a catena lineare o ramificata con forti legami intramolecolari ma deboli legami intermolecolari. La fusione e la solidificazione di questi polimeri sono reversibili e possono essere rimodellati applicando calore e pressione. Sono di struttura semicristallina o amorfa. Esempi includono polietilene, polistirene, nylon, policarbonato, Le materie plastiche termoindurenti hanno strutture reticolate o in rete con legami covalenti tra tutte le molecole. Non si sciolgono ma si decompongono per riscaldamento. Una volta solidificati da un processo di reticolazione

(indurimento), non possono essere rimodellati. Esempi comuni di polimeri termoindurenti includono poliesteri epossidici, fenolici, urea, melamina, silicone e poliammidi.

1.3.2 Proprietà del polimero di importanza per il composito

Alcune proprietà fisiche e chimiche di un polimero hanno un significato particolare per le proprietà di un composito. A differenza dei metalli e della ceramica, i polimeri possono essere notevolmente influenzati da variabili esterne. Al contrario, le proprietà meccaniche dei metalli sono tipicamente influenzate solo vicino alla temperatura di fusione.

Table 2-8 Effect of external variables on polymer properties

	Temperature	Environment	Strain Rate
Strength	X	X	X
Stiffness	X	X	X
Thermal expansion	X		
Thermal conductivity	X		
Permeability	X		
Solubility	X		
Environmental aging (ultraviolet)	X	X	
Melt temperature (semicrystalline polymer)			
Glass transition temperature (amorphous polymer)	X	X	

An X indicates a strong interaction between the external variable and the property.

Fig. 1.8 – Effetti delle variabili esterne sulle proprietà dei polimeri

I limiti di temperatura di un termoplastico dipendono dal fatto che sia semicristallino o amorfo. Le materie plastiche termoindurenti in genere hanno strutture amorfe, ma i materiali termoplastici possono essere sia semicristallini (non sono mai cristallini al 100%) sia amorfi. Lo stato amorfo è caratterizzato solo da una temperatura di transizione vetrosa (T_g), mentre

il polimero semicristallino ha un punto di fusione cristallino (T_m) nonché una temperatura di transizione vetrosa.

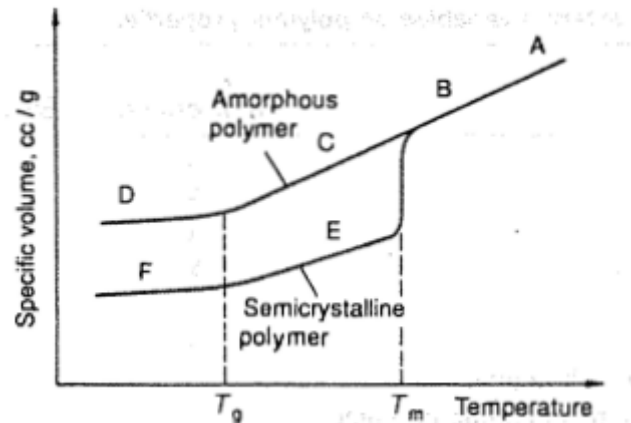


Fig. 1.9 – Comportamento del volume specifico di polimeri amorfi e semicristallini al variare della temperatura

La temperatura per la lavorazione dei materiali termoplastici è regolata dalla temperatura di fusione o dalla temperatura di transizione vetrosa. Ad esempio, un termoplastico amorfo deve essere stampato ben al di sopra della sua T_g per ridurre sufficientemente la viscosità del fuso. Una comprensione dell'effetto di queste temperature sul comportamento meccanico dei polimeri è maggiormente visibile dal comportamento del modulo di elasticità (E) con la temperatura (Fig. 1.10). Un termoplastico amorfo (ad esempio polistirene, policarbonato o polimetilmetacrilato) presenta un cambiamento significativo delle proprietà meccaniche alla temperatura di transizione vetrosa. Quindi le temperature massime di utilizzo devono essere inferiori alle temperature di transizione vetrosa. Un termoindurente (ad es. Epossidico, poliesteri o fenolico) presenta una variazione molto ridotta delle proprietà alla temperatura di transizione vetrosa a causa del suo alto grado di reticolazione. Tuttavia, le loro temperature massime di utilizzo non devono superare T_g . I termoplastici semicristallini hanno anche un modesto cambiamento nelle proprietà alla temperatura di transizione vetrosa a causa della

presenza delle regioni cristalline. Le loro temperature massime di utilizzo sono più dettate dai punti di fusione, come nel caso dei metalli e della ceramica.

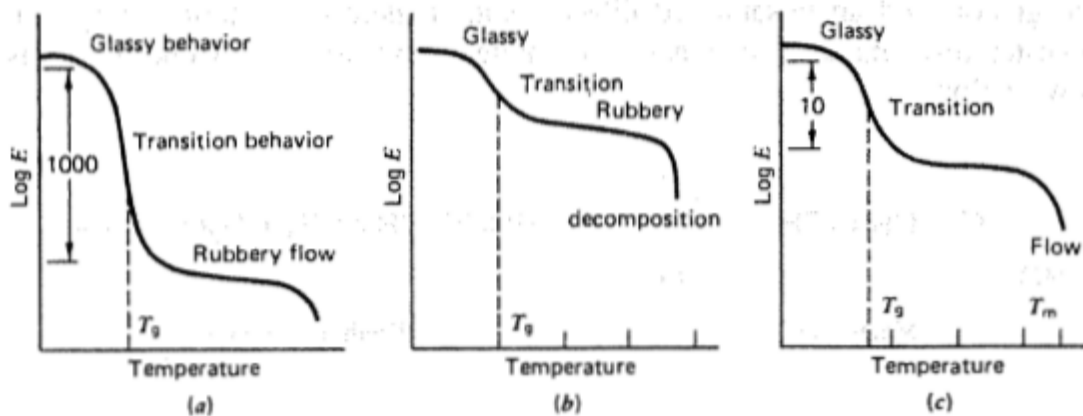


Fig. 1.10 – Variazione del modulo elastico di polimeri in funzione della temperatura: (a) termoplastico, amorfo; (b) termoindurente, reticolato; (c) semicristallino

1.3.3 Materiali a matrice polimerica comuni

Le resine poliestere ed epossidiche sono i materiali a matrice polimerica più comuni utilizzati con fibre di rinforzo ad alte prestazioni. Entrambi sono polimeri termoindurenti. La facile lavorabilità e la buona resistenza chimica sono i loro principali vantaggi.

1.3.3.1 Resina poliestere

Una resina poliestere è un solido poliestere insaturo (reattivo) disciolto in un monomero polimerizzabile. I poliesteri insaturi sono polimeri lineari a catena lunga contenenti un numero di doppi legami di carbonio. Sono prodotti da una reazione di condensazione tra un glicole (etilene, propilene o dietilenglicole) e un acido dibasico insaturo (maleico o fumarico), come in Fig. 1.11.

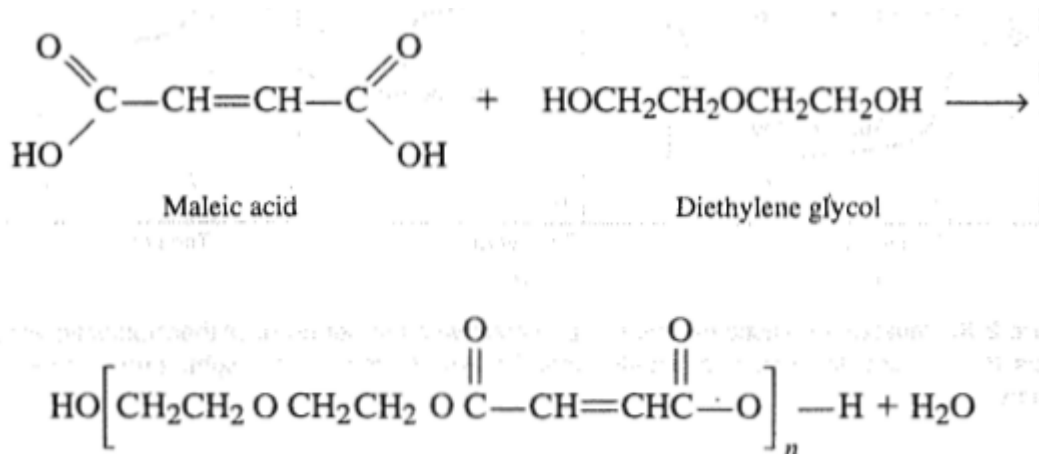


Fig. 1.11 – Tipica resina poliesteri a base di reazione di acido maleico e glicole dietilenico

La lunghezza della molecola o il grado di polimerizzazione n possono variare. La resina sarà generalmente un solido. Si dissolve in un monomero polimerizzabile (reattivo) come lo stirene, che contiene anche doppi legami di carbonio e funge da agente reticolante collegando molecole di poliesteri adiacenti nei loro punti di insaturazione. Il monomero funge anche da diluente, riducendo la viscosità del poliesteri e facilitando la lavorazione. Il processo di indurimento o reticolazione viene avviato aggiungendo una piccola quantità di un iniziatore / agente indurente a radicali liberi come un perossido organico (ad esempio, perossido di benzoile) o un composto azoico alifatico. Generalmente la reticolazione può avvenire a temperatura ambiente con o senza l'applicazione di pressione.

1.3.3.2 Resine epossidiche

Le resine epossidiche sono liquidi organici a basso peso molecolare che contengono un numero di gruppi epossidici (anelli a tre membri con un ossigeno e due atomi di carbonio):

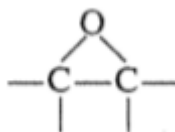


Fig. 1.12 – Gruppo epossidico

La resina epossidica è un liquido viscoso e la viscosità è una funzione del grado di polimerizzazione n . Ogni molecola epossidica è chiusa con un gruppo epossidico. Un agente indurente viene miscelato alla resina epossidica, si innesca quindi una reazione di reticolazione che porta all'ottenimento di un polimero reticolato a rete solida. Ad esempio, dietil-triammina, come mostrato di seguito, ottiene una rapida polimerizzazione a temperatura ambiente

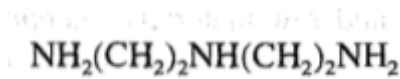


Fig. 1.13 – dietil-triammina

La scelta dell'agente indurente determina se è richiesta una cura a temperatura ambiente o a temperatura elevata. Il calore viene utilizzato solitamente per accelerare l'indurimento e per ottenere un grado di cura più elevato. Le proprietà di una resina epossidica indurita dipendono dalla composizione chimica del prepolimero epossidico, che può essere notevolmente modificato, nonché dalla molecola dell'agente indurente. I sistemi epossidici sono migliori dei poliesteri, in particolare per quanto riguarda l'adesione con un'ampia varietà di fibre, resistenza all'umidità e resistenza chimica. I motivi principali per cui l'eossidico è il materiale a matrice polimerica più utilizzato sono:

- Elevata resistenza
- Bassa viscosità e basse velocità di flusso, che consentono una buona bagnabilità delle fibre e prevengono il disallineamento delle fibre durante la lavorazione
- Bassa volatilità durante la polimerizzazione
- Bassi tassi di restringimento, che riducono la tendenza ad ottenere grandi sollecitazioni a taglio tra resina epossidica e il rinforzo

1.3.3.3 Altri polimeri termoindurenti

Esteri vinilici, poliammidi e fenolici sono tra gli altri polimeri termoindurenti che vengono utilizzati come materiali di matrice per i compositi. Gli esteri di vinile sono strettamente correlati ai poliesteri insaturi. Come i poliesteri insaturi, hanno una bassa viscosità e si induriscono rapidamente ma sono leggermente più costosi. Essi possiedono eccezionali caratteristiche prestazionali meccaniche e chimiche, sono spesso utilizzati per la loro facilità e velocità di elaborazione e la loro buona resistenza agli ambienti umidi. Le loro applicazioni includono strati di gel, tubi e recipienti di reazione ad alte prestazioni. Le poliammidi hanno un intervallo di temperatura di utilizzo relativamente elevato (250-300 °C). Inoltre, possiedono un'eccellente resistenza chimica e ai solventi. Tuttavia, questi materiali sono intrinsecamente molto fragili, e quindi sono spesso combinati con polisolfone, polieterimmide o altri materiali termoplastici. Le tecniche di manipolazione e lavorazione per le resine BMI sono simili a quelle delle resine epossidiche e le loro applicazioni includono nervature aerospaziali, firewall per elicotteri e schede di cablaggio stampate. Le resine fenoliche hanno bassa infiammabilità, bassa produzione di fumo, buona stabilità dimensionale in base alle fluttuazioni di temperatura e buone proprietà adesive. La resina fenolica è utilizzata principalmente nei mercati automobilistico, degli elettrodomestici e dei componenti elettrici.

Property, units	Vinyl Esters	Polyimides	Phenolics
Density, g/cm ³	1.12–1.32	1.46	1.30
Tensile strength, MPa	73–81	120	50–55
Tensile modulus, GPa	3.0–3.5	3.5–4.5	2.7–4.1
Coefficient of thermal expansion, 10 ⁻⁶ /°C	53	90	45–110
Water absorption in 24 h, %	—	0.3	0.1–0.2

Fig. 1.14 – proprietà tipiche di Esteri vinilici, poliammidi e fenolici

1.3.2 Metalli

I metalli sono di gran lunga i materiali di ingegneria più versatili. Le proprietà che sono particolarmente importanti per il loro uso come materiali di matrice nei compositi includono elevata resistenza, alto modulo, elevata tenacità e resistenza agli urti e relativa insensibilità alle variazioni di temperatura. Tra i fattori che, al contrario, ne limitano l'uso abbiamo l'elevata densità, le alte temperature di lavorazione (a causa di un alto punto di fusione), la reattività con le fibre e l'attacco da corrosione. Le matrici metalliche più comunemente utilizzate sono basate su alluminio e titanio. Entrambi questi metalli hanno basse densità e sono disponibili come leghe. Il magnesio, sebbene più leggero, non è adatto a causa della sua grande affinità con l'ossigeno, che favorisce la corrosione. Le superleghe a base di nichel e cobalto sono state usate come matrice; tuttavia, alcuni elementi leganti in essi tendono ad accentuare l'ossidazione delle fibre a temperature elevate. Il carbonio è la fibra più comune utilizzata con le leghe di alluminio. Tuttavia, il carbonio reagisce con l'alluminio a temperature di fabbricazione tipiche di 500 °C o superiori, ciò degrada gravemente le proprietà meccaniche del composito. I rivestimenti protettivi vengono spesso utilizzati sulle fibre di carbonio per ridurre questo degrado delle fibre e per migliorare la bagnatura delle fibre da parte della matrice di alluminio. Le leghe di titanio usate come matrici hanno rapporti di resistenza più elevati e sono superiori alle leghe di alluminio con mantenimento della resistenza a 400-500 °C. Principale problema delle leghe di titanio è la loro elevata reattività con fibre di boro e allumina a normali temperature di fabbricazione. Le fibre di carburo di silicio (SiC) e le fibre di boro rivestite con carburo di silicio mostrano una minore reattività con il titanio.

1.4 Prepregs

Pre-preg è un termine utilizzato per indicare materiali compositi fibrorinforzati "pre-impregnati" nei quali un materiale matrice, come la resina epossidica, è già presente. Le fibre in genere si dispongono a formare un tessuto, mentre la matrice viene utilizzata per fissarle tra di loro ed eventualmente con altri componenti durante la produzione. La matrice viene solo parzialmente reticolata, di modo che sia possibile manipolarla facilmente; ciò prende il nome di materiale di stadio B e richiede conservazione a basse temperature per evitare il completamento della reticolazione. Si possono posare questi nastri manualmente o meccanicamente secondo vari orientamenti per creare una struttura composita.

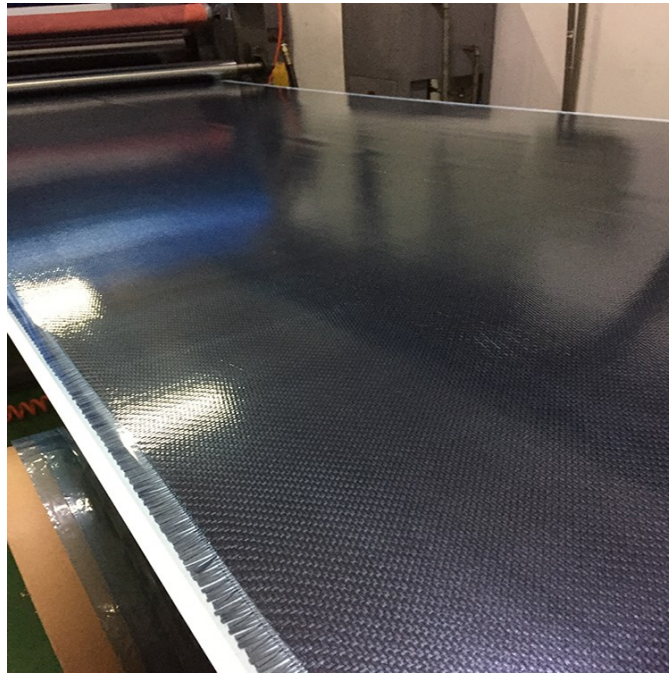


Fig. 1.15 – Nastro di prepreg

La Figura 1.16 mostra lo schema di come viene realizzato un prepreg. Una fila di fibre viene fatta passare attraverso un bagno di resina. Le fibre impregnate di resina sono quindi riscaldate per far avanzare la reazione di indurimento dallo stadio A allo stadio B. Un film protettivo infine viene avvolto su un rotolo, impedendo ai prepreg di attaccarsi l'un l'altro.

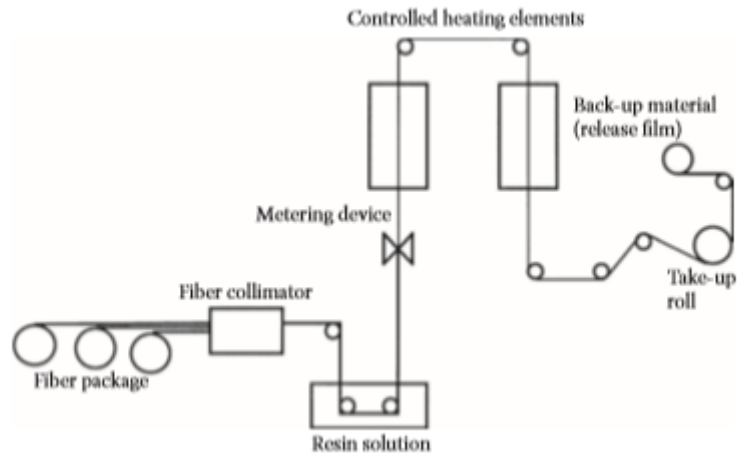


Fig. 1.16 – Rappresentazione schematica del processo di realizzazione di un nastro prepreg

Per realizzare strutture composite fatte di pre-preg si necessiterà di un forno o di un'autoclave per la reticolazione. Ci sono vari vantaggi e svantaggi del processo di pre-preg di stadio B in confronto al sistema di iniezione a camera calda. Il pre-preg permette di impregnare le fibre su superfici lavorabili piatte, ovvero in processi industriali, e successivamente dare alle fibre impregnate una forma che sarebbe problematica per il sistema di iniezione a camera calda. Il pre-preg inoltre permette di impregnare un significativo numero di fibre per poi conservarle in un'area raffreddata per lunghi periodi, procedendo alla reticolazione successivamente. Questi materiali hanno, inoltre, il vantaggio di possedere:

- il giusto rapporto resina/fibre
- uno spessore costante
- facilità d'impiego
- direzione delle fibre costante

Il trattamento di cura ad una determinata temperatura e pressione consente di ottenere un materiale di ottime proprietà di resistenza e leggerezza. Solitamente sul mercato è possibile

acquistare questo materiale sotto forma di nastri di prepreg avvolti in rotoli. A seconda delle direzioni di orientamento delle fibre si possono individuare due tipologie di materiale:

- **compositi unidirezionali (UD)**, sono caratterizzati da fibre disposte parallelamente tra loro in un'unica direzione
- **fabric form**, sono caratterizzati da fibre disposte lungo due direzioni

Le differenze tra le due tipologie sono notevoli ed influenzano, come è naturale, le prestazioni del prodotto. Nel primo caso il comportamento del materiale è fortemente anisotropo, con caratteristiche meccaniche ottime nella direzione di orientamento delle fibre, al contrario nelle altre direzioni le prestazioni sono scadenti. Nel secondo caso si cerca di ottenere un comportamento il più possibile vicino a quello isotropo. Sul mercato si trovano differenti stili di fabric form, a seconda delle esigenze prestazionali ed estetiche del prodotto finale che si vuole ottenere. In Fig. 1.17 troviamo solo alcune delle soluzioni che è possibile trovare sul mercato.

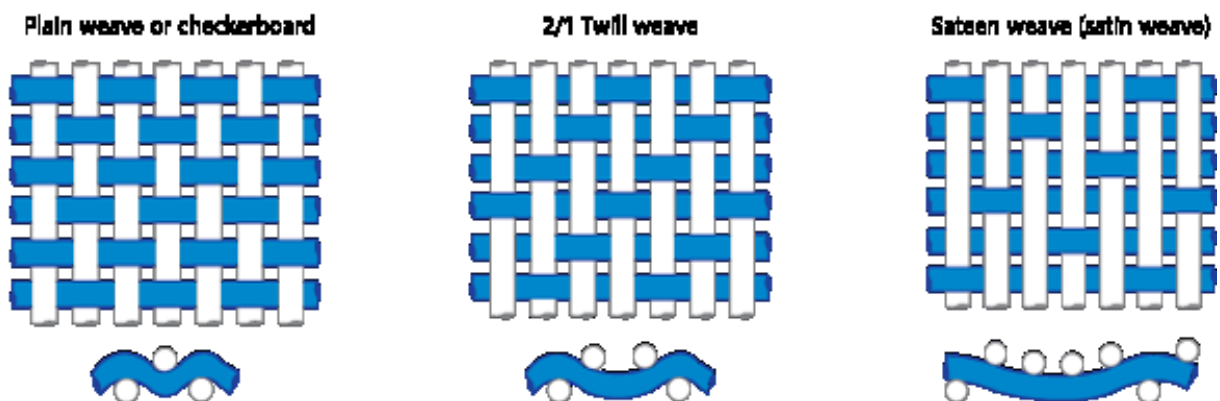


Fig. 1.17 – Alcuni esempi di fabric form disponibili sul mercato

Tessuti molto intrecciati come il plain weave possiedono migliori proprietà meccaniche perché fibre dritte consentono di trasmettere meglio i carichi, tessuti meno intrecciati al contrario possiedono una migliore adattabilità a superfici anche molto complesse. Esistono poi i cosiddetti tessuti NCF (Non-crimp fabrics) (Fig.1.18), ovvero tessuti ottenuti senza

piegare le fibre in quanto sono sovrapposizioni di differenti lamine unidirezionali ciascuna con fibre orientate secondo la desiderata direzione e cucite insieme ortogonalmente. Essi possiedono resistenza e rigidità in direzioni multiple senza piegare le fibre, il che permette ridurre i costi di processo pur consentendo un'illimitata possibilità di personalizzazione.

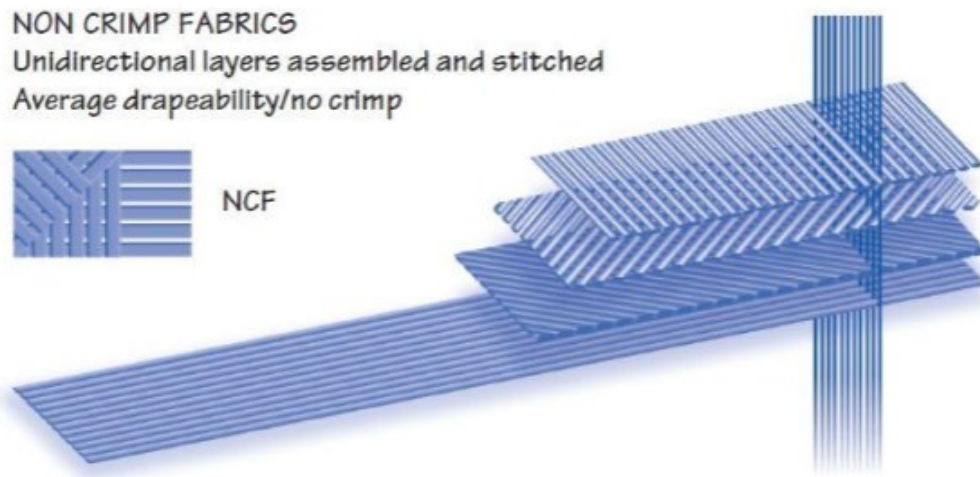


Fig.1.18 - Tessuti NFC

Le tecniche di produzione di un composito a matrice polimerica includono:

Filament winding: le fibre sono impregnate di una resina attirandole attraverso un bagno di resina in linea (avvolgimento a umido) o prepreg (avvolgimento a secco) vengono avvolte su un mandrino. L'avvolgimento a umido è economico e consente di controllare le proprietà del composito. L'avvolgimento a secco è più pulito, ma più costoso e quindi abbastanza raro.

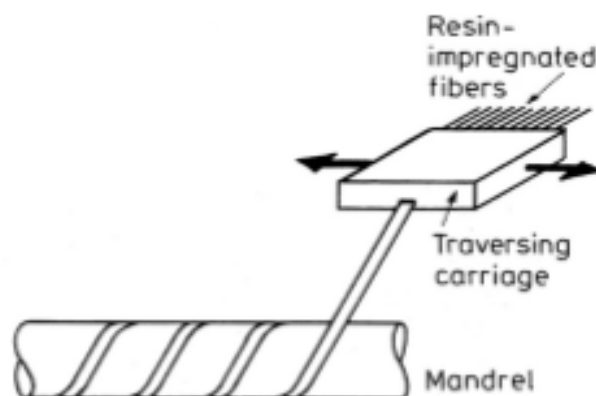


Fig. 1.19 – Processo di filament winding

A seconda delle proprietà desiderate del prodotto, possono essere sviluppati schemi di avvolgimento come il cerchio, elicoidale e polare. Il prodotto viene quindi polimerizzato con o senza calore e pressione. A seconda dell'applicazione, i mandrini sono realizzati in legno, alluminio, acciaio, gesso o sali. Ad esempio, i mandrini in acciaio sono scelti per la produzione di grandi quantità di cilindri a estremità aperta e leghe a basso punto di fusione o sali solubili in acqua vengono utilizzati per cilindri a estremità chiusa in modo da poter rimuovere facilmente il mandrino.

Formatura in autoclave: questo metodo di produzione viene utilizzato con compositi disponibili come preimpregnati. Innanzitutto, uno strato di peeling in nylon o cellophane rivestito con Teflon viene posizionato sullo stampo. Il teflon viene utilizzato per una facile rimozione del pezzo e lo strato di peeling così da ottenere un risultato liscio e privo di rughe. I prepreg del numero richiesto sono disposti uno strato alla volta con mezzi automatizzati o manualmente. Ogni strato viene premuto per rimuovere le bolle d'aria intrappolate. Il lay-up è sigillato ai bordi per formare una chiusura sottovuoto. Quindi si stabilisce il sistema di spurgo per eliminare i gas e la resina in eccesso durante il processo di riscaldamento e vuoto che segue. Il sistema di spurgo è costituito da diversi fogli di spurgo realizzati in tessuto di vetro. Questi sono posizionati sui bordi e sulla parte superiore del lay-up. Viene sviluppato un vuoto parziale per levigare la superficie del sacco. L'intero gruppo viene inserito in un'autoclave, dove calore e pressione vengono applicati con un gas inerte come azoto. Viene esercitato il vuoto per rimuovere i gas durante il ciclo di polimerizzazione e per mantenere la parte aderente allo stampo. Il ciclo di cura può durare più di 5 ore.

Stampaggio a trasferimento di resina (RTM) (chiamato anche stampaggio a liquido): una resina a bassa viscosità come poliestere o resina epossidica viene iniettata a bassa pressione in uno stampo chiuso che contiene la preforma di fibra. Il flusso di resina viene interrotto e la parte viene lasciata indurire. La cura viene eseguita a temperatura ambiente o a

temperature elevate. Quest'ultimo viene eseguito se la parte deve essere utilizzata per applicazioni alle alte temperature. I vantaggi di RTM sono che è meno costoso della posa manuale, può essere automatizzato e non necessita di conservazione refrigerata per i preimpregnati. Gli svantaggi principali includono le spese necessarie per avere due stampi anziché uno.

2 Progetto Circe

2.1 Economia Circolare

Nel 2015 la CE ha adottato un ambizioso piano per l'economia circolare volto a favorire la transizione verso un'economia in cui il valore di prodotti, materiali e risorse sia mantenuto il più a lungo possibile nella stessa e la generazione di rifiuti sia ridotta al minimo. In quest'ottica, i materiali che possono essere riciclati vengono reimmessi nell'economia come nuove materie prime aumentando così la sicurezza dell'approvvigionamento. Queste "materie prime secondarie" possono essere scambiate e spedite proprio come quelle primarie da risorse estrattive tradizionali. Allo stato attuale, con poche eccezioni, le materie prime secondarie rappresentano ancora una piccola parte dei materiali utilizzati nell'UE. Una delle barriere incontrate dagli operatori che vogliono utilizzarle è l'incertezza sulla loro usabilità e qualità. Lo sviluppo di metodi di trattamento, purificazione e manipolazione, nonché di standard, dovrebbe aumentare la fiducia nelle materie prime secondarie e nei materiali riciclati e contribuire a sostenere il mercato. Gli attori economici, come le industrie, sono fondamentali per guidare questo processo. Le autorità locali, regionali e nazionali stanno consentendo la transizione, ma anche l'UE ha un ruolo fondamentale nel sostenerla. L'obiettivo è garantire la presenza del giusto quadro normativo per lo sviluppo dell'economia circolare nel mercato unico.

2.2 Il problema del rifiuto prepreg

L'HPC attualmente produce circa 30 tonnellate/anno di rifiuti pre-impregnati (che dovrebbero aumentare del 40% nei prossimi anni), che oggi vanno in discarica. Le tecniche di riciclaggio possono essere approssimativamente classificate in tre categorie: termica, chimica e meccanica. L'opzione migliore oggi è rappresentata dalla pirolisi, anche se la tecnica più matura è il riciclaggio meccanico. In effetti, il riciclaggio meccanico su scala industriale è molto più efficiente dal punto di vista energetico. Inoltre, la pirolisi è in grado di recuperare solo le fibre, con proprietà meccaniche degradate, a scapito della parte polimerica che viene bruciata durante il processo. È importante sottolineare che l'energia specifica per il riciclo meccanico dei CFRP è inferiore a quella dei processi di produzione. Tuttavia, nel modo in cui viene applicato il riciclo meccanico, non è possibile utilizzare per recuperare rifiuti pre-impregnati allo stato vergine, lasciando la pirolisi come unica opzione.

2.3 La proposta LIFE-CIRCE

L'obiettivo del progetto LIFE-CIRCE è creare una valida soluzione tecnologica per rendere applicabile il riciclaggio meccanico per rifiuti pre-impregnati allo stato vergine su scala industriale.



Fig. 2.1 – Logo progetto Life circe

Sono state studiate diverse tecniche di peeling per rimuovere la pellicola protettiva in polietilene: sistema centrifugo, sistema a vuoto e tecnica elettrostatica. I metodi elettrostatici consistono nel far passare gli scarti del preimpregnato sotto un rullo caricato elettrostaticamente che attira il film e quindi lo scarica in un contenitore dedicato. Anche se questa tecnica ha dimostrato proprietà interessanti, i progettisti non la considerano scalabile a livello industriale. I sistemi centrifughi e sottovuoto hanno avuto successo, offrendo alta affidabilità e tempi di ciclo brevi. Nel sistema centrifugo, piccoli pezzi di scarti preimpregnati vengono caricati in una filatura che, grazie all'elevata velocità di rotazione, genera la forza centrifuga sufficiente per separare il pre-impregnato e la pellicola protettiva in PE. Nel sistema del vuoto, grazie alla forza generata da una pompa del vuoto, la pellicola protettiva può essere facilmente rimossa se viene applicata una bassa temperatura. Il fattore

chiave in questi sistemi è la temperatura: infatti, raffreddando i materiali al di sotto di -25 °C, il peeling è quasi automatico a causa della drastica riduzione dell'adesione della resina.

2.3.1 I partner

Il progetto CIRCE è coordinato da **HP Composites srl (HPC)**, che possiede esperienza e risorse per coprire il ruolo. HPC sarà il driver del progetto, fornendo gli scarti del prepreg CFRP di cui è anche l'utente finale interno. Sarà responsabile dell'installazione dell'attrezzatura pilota e dell'implementazione del modello CE.



Fig. 2.2 - Logo HP Composites srl (HPC)

Gli altri beneficiari sono:

ALCI SRL (ALCI), ITALIA

Il gruppo ALCI è leader nel settore della lavorazione dei metalli industriale, sviluppa e progetta una produzione personalizzata linee e macchinari per applicazioni nell'industria della gomma,



Fig. 2.3 – Logo Alci srl

farmaceutica, alimentare e chimica. ALCI eseguirà la progettazione e la costruzione del prototipo pilota e il supporto per la fase di messa a punto del sistema.

PETROCERAMICS SPA (PETRO)

Petroceramics S.p.A. sviluppa nuovi materiali ceramici avanzati e soluzioni tecnologiche per diversi settori tecnici tra



Fig. 2.4 – Logo Petroceramics spa (PETRO)

cui quello automobilistico, aeronautico e della difesa. Rende conto dell'esperienza

pluriennale e delle relazioni consolidate con leader di mercato come Brembo, Alenia e Leonardo Finmeccanica. Il suo ruolo nel progetto è quello di utente finale di materiali riciclati e tester dei materiali di recupero per la produzione CCM.

BASE PROTECTION SRL

BASE PROTECTION progetta, produce e commercializza calzature di sicurezza nel mercato mondiale, ma la sua attività è concentrata soprattutto in Europa. La



Fig. 2.5 – Logo Base protection srl

sua missione aziendale è quella di creare e offrire dispositivi di protezione del personale (DPI) utilizzando soluzioni e tecnologie innovative. Gli investimenti in R & S & I, numerosi brevetti utilizzati nelle proprie calzature e una strategia produttiva e commerciale focalizzata, nonché un modello di business che pone il cliente al centro dell'attenzione sono i punti di forza chiave di BASE. Il suo ruolo nel progetto è quello di utente finale, per definire i requisiti del prodotto, progettare un nuovo puntale protettivo correlato al comportamento del CFRP, sviluppare un nuovo stampo e validare i campioni dimostrativi.

CETMA

CETMA ha 24 anni di esperienza nelle attività di ricerca su materiali e processi innovativi. Negli ultimi 16



Fig. 2.6 – Logo Cetma

anni, CETMA ha fortemente investito nel campo dei materiali compositi in termini di strutture e competenze, diventando sempre più un punto di riferimento a livello europeo per quelle aziende che mirano a penetrare nel mercato dei materiali compositi. Ruolo nel progetto: CETMA ha forti collaborazioni con BASEPRO e hanno supportato in progetti precedenti la progettazione e lo sviluppo di puntali basati su materiali compositi per scarpe

antifortunistiche mediante simulazioni numeriche per ottimizzare le prestazioni meccaniche del prodotto.

2.3.2 Gli utilizzi del prepreg riciclato da parte dei partner

Il pre-impregnato proveniente da detto processo verrà riciclato in tre possibili applicazioni:

- dischi freno CCM e altri materiali ceramici in sostituzione della fibra vergine di carbonio (PETRO);
- prodotti DPI (come puntali) per garantire leggerezza ed elevata resistenza agli urti (BASE);
- Rinforzo per componenti estetici in carbon look che offrono elevata rigidità a basso costo (HPC). Il processo ottimale e i parametri dei prodotti devono essere definiti nel contesto delle attività di questo progetto.

2.3.2.1 Compositi a matrice di carboidrati (CCM) per dischi freno ad alte prestazioni

PETRO proverà a produrre materiali compositi a matrice ceramica (CMC) per applicazioni frenanti utilizzando rifiuti pre-preg riciclati. In particolare, questa azione si concentra su una sostituzione parziale o completa delle fibre di carbonio vergini attualmente utilizzate nei materiali ceramici in carbonio (CCM) con la materia prima secondaria dei rifiuti pre-preg a base epossidica. I materiali CCM sono utilizzati per la produzione di dischi e pastiglie dei freni. Queste parti del freno sono destinate al segmento delle auto di lusso in cui l'obiettivo è quello di ottenere le massime prestazioni, quindi la sfida principale nell'uso di materie prime riciclate è quella di mantenere invariate le prestazioni del prodotto rispetto ai prodotti

standard. La produzione di questi materiali comprende tre fasi principali: la modellatura mediante stampaggio a compressione a caldo, la pirolisi e l'infiltrazione di Si. All'inizio, i diversi componenti (principalmente fibre di carbonio tradizionali, rifiuti riciclati pre-preg e resina fenolica in polvere) vengono miscelati insieme e la miscela viene stampata in uno stampo unidirezionale, ad una temperatura di 140-160 ° C. Il secondo passo è la pirolisi dei campioni, generalmente effettuata alla temperatura di 700-900 ° C in atmosfera inerte. La pirolisi converte la matrice polimerica in carbone attivo, formando una preforma porosa C / C. Quindi, l'ultimo passo è l'infiltrazione di silicio liquido (LSI) delle preforme C / C. Questo processo si traduce in un materiale più denso, con porosità inferiore. Il composito densificato è composto chimicamente da carbonio, silicio e carburo di silicio. Durante il progetto, saranno testate diverse miscele, modificando la percentuale di pre-preg rifiuti. Parametri come la pressione di stampaggio e la temperatura dello stampo, la pirolisi e i profili termici LSI saranno studiati e modulati con l'obiettivo di fabbricare i migliori materiali.

2.3.2.2 Fabbricazione di dispositivi di protezione individuale (DPI)

I prodotti per l'equipaggiamento di protezione del personale (DPI), come scarpe, guanti, caschi e protezioni per il corpo, devono essere leggeri, flessibili, traspiranti e offrire un comfort superiore. In questa prospettiva BASEPRO sarà coinvolto nello sviluppo di un nuovo concept design e produzione di puntali utilizzando rifiuti pre-preg riciclati. Questa azione si concentra su una sostituzione parziale o completa degli attuali materiali utilizzati con rifiuti pre-pregs. Il primo obiettivo di questo compito è identificare i requisiti tecnici e legali per le punte di protezione in accordo con le norme armonizzate aggiornate (ISO). Base quindi si impegna a riprogettare il puntale definendo le nuove caratteristiche e geometrie del prodotto. Quindi, Cetma svilupperà un modello numerico avanzato in grado di prevedere le proprietà meccaniche delle chip di compositi riciclati in funzione della loro microstruttura eterogenea. I risultati della simulazione verranno confrontati con i test sperimentali al fine

di calibrare il modello numerico del materiale e validarlo. Le curve sperimentali dei test saranno il termine di confronto. Inoltre, verranno eseguite analisi di sensibilità per valutare gli effetti della variabilità intrinseca di orientamento e morfologia delle chips sulle proprietà meccaniche del materiale, notare inoltre la presenza di vuoti o tasca di resina. Infine, il modello numerico sarà utile per prevedere le prestazioni del materiale con diverse geometrie e forme, in particolare con il prodotto applicativo come puntale. A partire da una geometria CAD preliminare della punta, Cetma eseguirà diversi test dinamici virtuali al fine di verificare i risultati di progettazione sulla base di standard o requisiti aggiornati correlati stabiliti da BASE. Questi i risultati delle simulazioni saranno utilizzati per finalizzare la geometria puntale al fine di risparmiare costi e tempi per la certificazione finale. Lo stampo per la produzione del prototipo di puntale sarà progettato e prodotto sulla base della geometria sviluppata e ottimizzata della punta.

2.3.2.3 Produzione e test di nervature di rinforzo per cappe e parti in carbon look (HPC)

I materiali di recupero potrebbero essere utilizzati per la fabbricazione di componenti estetici del veicolo in cui il rapporto resistenza/peso non è rilevante. Saranno prodotti nell'impianto HPC mediante il processo di stampaggio a compressione. Quindi, le prestazioni meccaniche saranno valutate con test dedicati al fine di verificare che questi componenti soddisfino i requisiti di rigidità. Saranno sviluppati modelli virtuali sia per il processo che per le simulazioni del prodotto. Questi modelli saranno utili per evitare costosi esperimenti reali per ottimizzare i parametri di processo e le prestazioni del prodotto. In questo modo, una volta stabilita una forte correlazione tra modello virtuale e reale, le simulazioni consentiranno di ridurre al minimo i tempi di produzione e massimizzare le prestazioni dei prodotti agendo sui parametri di processo. I componenti da produrre saranno estetici e non parti strutturali. In particolare, saranno, ad esempio, nervature di rinforzo per cappe e parti

in carbon look. La produzione si baserà sul processo di stampaggio a compressione, basato sui precedenti esperimenti di ricerca e sviluppo.

3 Descrizione della linea produttiva

Il progetto prevede la realizzazione di una linea in grado di ricevere sfridi di dimensioni massime definite, ma con geometrie fortemente irregolari. Gli sfridi provenienti dalle operazioni di taglio effettuate dall'azienda HP Composites derivano dalla geometria e dell'ottimizzazione dei nesting dei prodotti da realizzare, è facile comprendere come la loro geometria non sia in alcun modo standardizzabile.

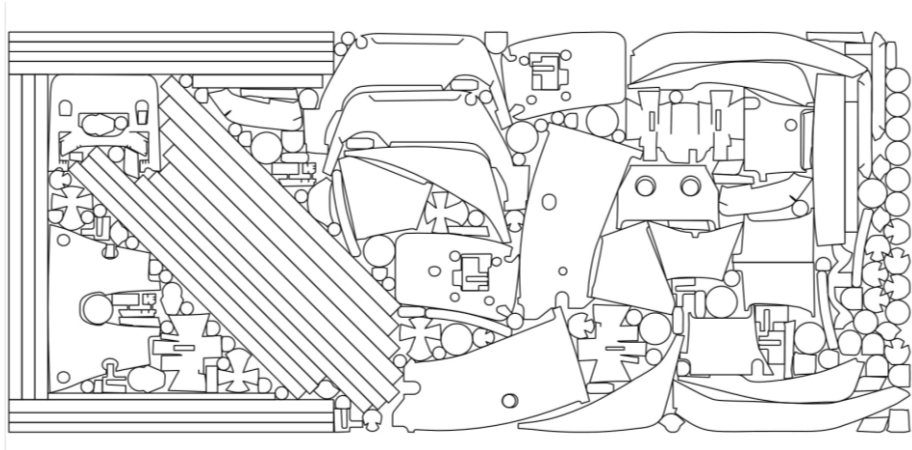


Fig. 3.1 – Esempio di nesting



Fig. 3.2 – Esempio di sfrido derivante dalle operazioni di taglio effettuate da HP

Composites

Dalla Fig. 3.2 si nota come gli sfridi siano aggrovigliati, il che rende difficile il loro processamento da una macchina.

3.1 Definizione input e output della linea

In prima istanza è stato necessario definire quali fossero le caratteristiche del materiale che i vari partner avrebbero dovuto ricevere una volta che gli scarti fossero stati processati dalla linea. Questo dipende naturalmente dall'utilizzo che i vari partner intendono farne. Attraverso diversi incontri tra le parti sono quindi stati individuati i requisiti necessari per la lavorazione del prodotto e quelli relativi al suo confezionamento. Nelle tabelle che seguono sono elencate le varie caratteristiche.

		Partner				matching
		HP	CETMA	Petro Ceramics	BASE	
Requisiti lavorazione	Forma delle chips	rettangolari	rettangolari	rettangolari	indifferente	rettangolari
	Dimensione delle chips [mm]	10-50	10-30	10x5-10x30	indifferente	dai 10 ai 50 mm (in funzione delle esigenze del cliente)
	Tolleranza su presenza film	zero	bassa	bassa – da verificare	indifferente	La minore realizzabile con la tecnologia attuale
	Presenza talco	OK in piccole quantità	da verificare	da verificare	indifferente	OK in piccole quantità
	Tolleranza su presenza cimosa	zero	bassa – da verificare	bassa – da verificare	indifferente	La minore realizzabile con la tecnologia attuale

Fig. 3.3 – Requisiti di lavorazione degli sfridi di prepreg

		Partner				matching
		HP	CETMA	Petro Ceramics	BASE	
Requisiti confezionamento	Materiale della busta di confezionamento	polietilene	polietilene	polietilene	polietilene	polietilene
	Dimensione buste [cm x cm]	indifferente	100 x 30	indifferente	indifferente	100x30 (da verificare)
	Quantità contenuta per ogni busta [kg]	0,5-1	2-5	0,5	indifferente	1
	Modalità chiusura busta (termosaldata o legatura)	termosaldata	termosaldata	termosaldata	termosaldata	termosaldata
	Sistema di conservazione anti-umidità	non necessario	non necessario	non necessario	non necessario	non necessario
	Ulteriore confezionamento delle buste	Scatolone 40 x 40 x 150	indifferente	indifferente	indifferente	Scatolone con dimensioni da verificare in funzione dimensioni buste
	Numero buste per confezione	indifferente	indifferente	indifferente	indifferente	Da verificare in funzione della dimensione delle buste

Fig. 3.4 – Requisiti di confezionamento degli sfridi di prepreg

Ognuno dei partner negli incontri effettuati ha espresso le proprie preferenze in merito alle caratteristiche che il materiale avrebbe dovuto avere e al suo confezionamento. Al fine di standardizzare il processo è stato effettuato un matching tra queste richieste (colonna evidenziata in rosa Fig. 3.2 e Fig. 3.3). Per quanto riguarda la lavorazione le chips dovranno avere una geometria rettangolare con dimensioni massime di 10 x 50 mm (Fig. 3.5), tra queste non dovrà essere presente cimosa o film protettivo. Per quanto concerne il confezionamento le chips dovranno essere confezionate in buste termosaldate di polietilene

da 1 kg (da saldare poi in mezzeria per realizzare due monodosi da 500g ciascuna). Per quanto riguarda le dimensioni della busta non sono state fatte richieste particolari, ad eccezione di un partner; la dimensione della busta è stata quindi individuata in funzione del volume occupato da 1 kg di chips delle dimensioni precedentemente indicate, quindi la scelta è ricaduta su di una busta di dimensioni 300x400mm.

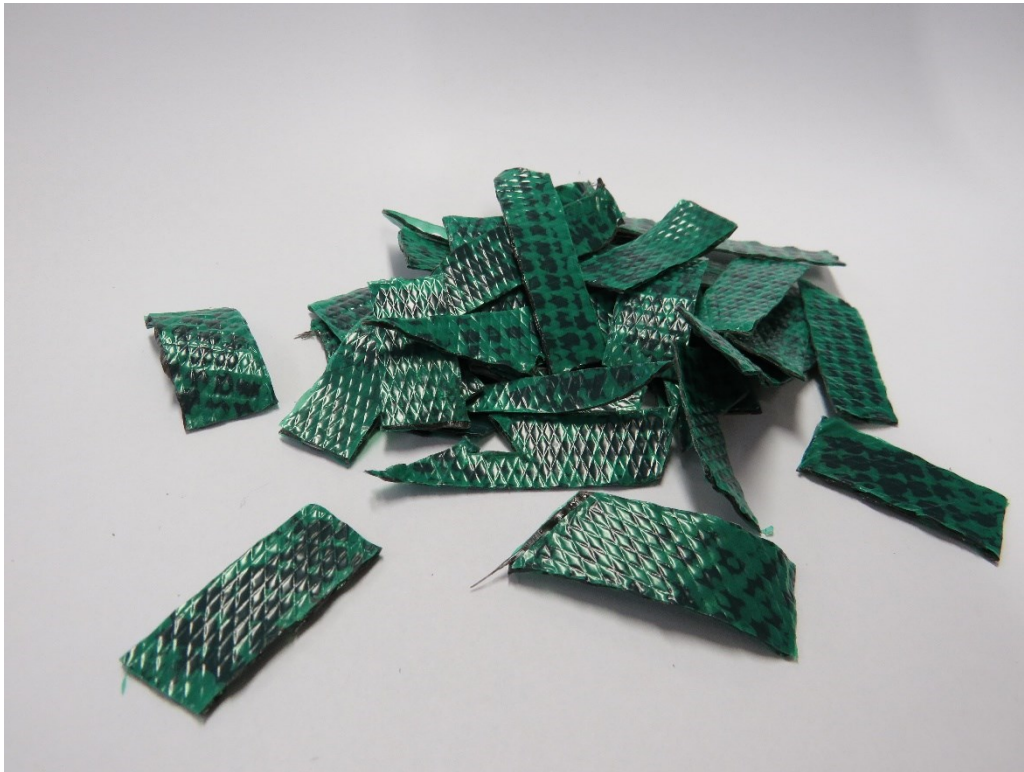


Fig. 3.5 – Chips di prepeg di dimensioni 10 x 50 mm

Identificati quindi approssimativamente gli input e gli output della linea di riciclaggio è stato possibile definire un suo primo layout.

3.2 Layout della linea

Per quanto precedentemente detto dovrà essere presente una stazione di taglio dove gli sfridi vengono tagliati in chips di forma rettangolare di dimensioni 10 x 50mm (verranno successivamente suddivise in funzione della loro grandezza). Una volta effettuata la fase di taglio le chips ricavate verranno caricate su di una tramoggia che le condurrà ad un buratto

rotativo con la funzione di favorire la separazione delle singole parti evitando così che vengano a formarsi eventuali agglomerati. Le chips vengono quindi scaricate su di un nastro vibrante con lo scopo di distanziare le singole ed evitare ancora una volta che esse si sovrappongano. A questo punto viene effettuato un controllo sull'effettiva distribuzione delle chips sul nastro. Il controllo si compone di due fasi successive:

- Controllo ottico → una telecamera controlla che non vi siano parti sovrapposte
- Controllo attraverso tastatore → il tastatore controlla che lo spessore della parte vagliata non superi quello massimo ammissibile

Qualora uno dei controlli precedenti non venga superato la parte viene scartata e reimpressa nel buratto. La fase successiva è quella della rimozione del film protettivo di cui la chips è dotata. Il prodotto viene caricato all'interno della macchina spellicolatrice che attraverso un sistema di pieghe alternate e con l'ausilio di un'aspirazione rimuove la pellicola. Una volta rimossa la pellicola le chips vengono sottoposte ad un ulteriore controllo ottico attraverso una telecamera in grado di rilevare l'eventuale presenza di pellicola. Nel caso in cui il controllo non venga superato la parte viene scartata e reimpressa nel buratto. Completata la fase di spellicolamento le chips vengono depositate su di un nastro che le conduce alla macchina talcatrice. Questa macchina ha il compito di distribuire un sottile strato di talco su entrambe le superfici del pezzo per scongiurare il successivo agglomerarsi di più chips. I rettangolini di prepeg quindi superano la macchina talcatrice e vengono sottoposti ad un controllo finale effettuato attraverso l'utilizzo di una telecamera che misura la grandezza delle singole chips. In questo modo quindi i pezzi vengono suddivisi sulla base di 3 range di dimensioni massime. La fase successiva è quella del confezionamento, quindi il prodotto viene portato ad una confezionatrice verticale. Dalla macchina usciranno buste di polietilene di circa un chilogrammo in peso termosaldate. Depositare su un nastro, le buste, vengono portate ad un'inscatolatrice e successivamente ad una nastratrice che provvederà a sigillare

opportunitamente la scatola di cartone. Nel seguito dell'elaborato verranno quindi prese in analisi le macchine alla cui progettazione il candidato ha partecipato in maniera attiva.

3.3 Dimensionamento dello sfrido

Processare sfridi intrecciati e aggrovigliati tra loro in chips di dimensioni rettangolari 10 x 50 mm non è cosa semplice, per di più una volta eseguito il taglio del pre-preg sul pantografo parte della resina fuoriesce dal lato inciso, rendendo i singoli pezzi “appiccicosi” tra loro e difficile l'operazione di districamento anche a mano. Automatizzare questa procedura rappresenta un'impresa assolutamente non banale, per questo motivo è stata presa in considerazione l'ipotesi di suddividere in rettangoli di dimensioni 100 x 100 mm gli sfridi durante la stessa fase di taglio. L'azienda Hp Composites ha fornito una serie di nesting definiti rappresentativi per le lavorazioni che vengono eseguite quotidianamente in azienda e suddivisi in nesting ad alta efficienza (in cui quindi la % di sfrido è veramente bassa rispetto al prodotto finito) (Fig. 3.7) ed a bassa efficienza (in cui quindi la % di sfrido è una % considerevole rispetto al prodotto finito) (Fig. 3.6).



Fig. 3.6 – Esempio di nesting a bassa efficienza

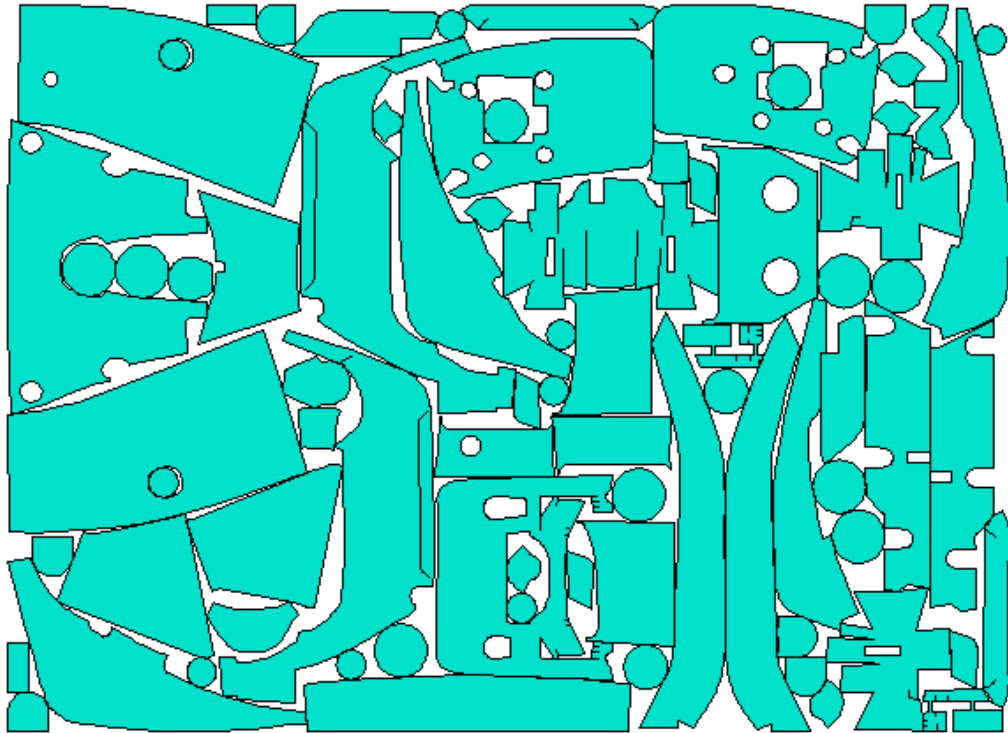


Fig. 3.7 – Esempio di nesting ad alta efficienza

Al fine di valutare aumenti in termini di tempi e costi dell'operazione di taglio è stata sovrapposta una griglia composta di quadrati 100 x 100 mm ai nesting. Attraverso l'utilizzo del software Autocad la griglia è stata modificata per ogni nesting in modo tale che essa non intersechi i pezzi da realizzare (questa operazione verrà successivamente svolta da un software dedicato in maniera automatica) (Fig. 3.8 - Fig. 3.9). Essa ha una larghezza pari a quella del nastro di prepreg utilizzato, mentre per l'altra dimensione è stata considerata la minima lunghezza necessaria a includere tutte le linee del nesting. Questa soluzione genererà pezzi della geometria più disparata, ma con dimensioni massime quelle del minimo elemento della griglia, il che renderà più facilmente processabile gli sfridi ad una successiva macchina di taglio (operazione di sizing).

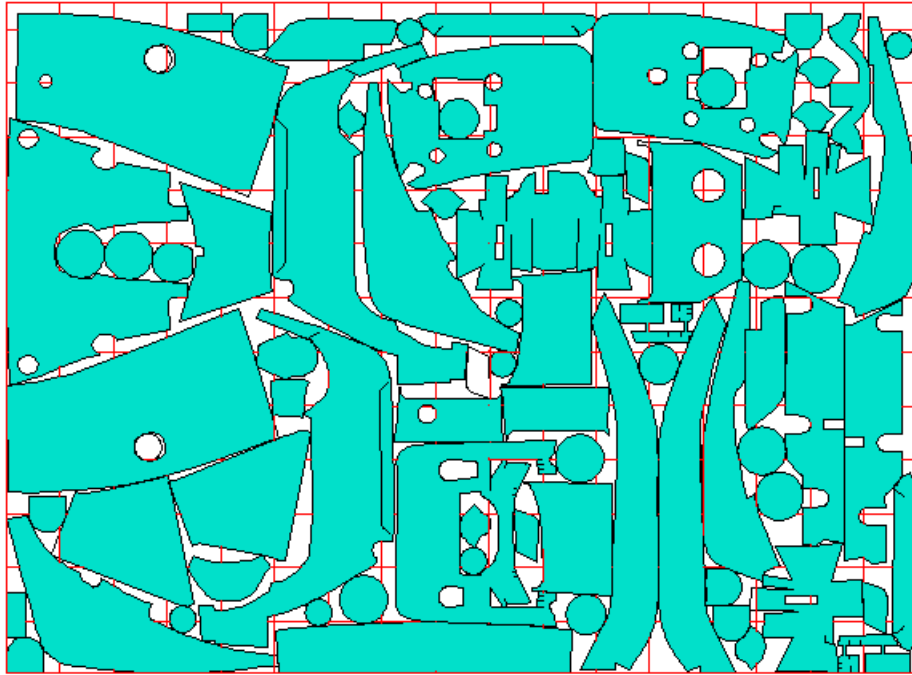


Fig. 3.8 – Esempio di nesting ad alta efficienza con griglia sovrapposta

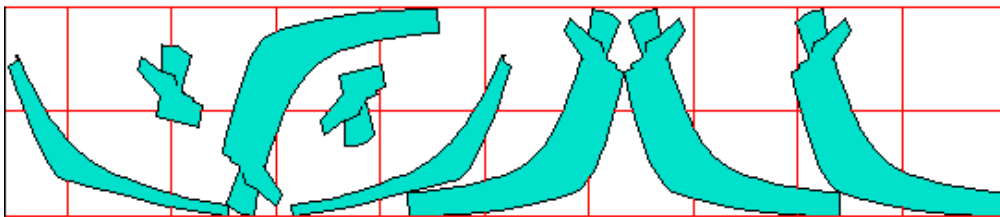


Fig. 3.9 – Esempio di nesting a bassa efficienza con griglia sovrapposta

Per ognuno dei nesting forniti è stato calcolato il percorso dell'utensile per ricavare i singoli pezzi del nesting e il percorso aggiuntivo dell'utensile per il sezionamento dello sfrido (costituito dalla somma dei segmenti evidenziati in rosso in Fig. 3.8 – Fig. 3.9), quindi è stato ricavato l'allungamento % del percorso come:

$$L_{totale} = L_{nesting} + L_{tagli\ aggiuntivi}$$

$$\Delta L = \frac{L_{totale}}{L_{nesting}} * 100$$

L'allungamento percentuale rappresenta quindi il percorso in più che l'utensile dovrà percorrere rispetto al caso in cui lo sfrido non venga sezionato. I dati delle due categorie di efficienza dei nesting sono quindi stati raccolti in tabella.

nome file	distanza				
	Tagli nesting [mm]	Tagli aggiuntivi [mm]	Tagli totali [mm]	ΔL %	
FR-B1-P0003-000-00-1S-1P-C001	1684.7	5866.5	7551.2	348.2	%
FR-B1-P0017-PROVA_1	2733.0	4885.2	7618.2	178.7	%
FR-B1-P0019-PROVA_1	1535.1	4842.2	6377.4	315.4	%
FR-B1-P0027-PROVA_1	2000.2	2849.7	4849.9	142.5	%
FR-B1-P0027-PROVA_2	973.3	3027.5	4000.8	311.1	%
FR-B1-P0040-PROVA_1	9283.7	11919.6	21203.3	128.4	%
FR-B1-P0046-REC-C004	4743.0	4570.0	9313.0	96.4	%
FR-B1-P0070-000-00-1S-1P-C004	4743.0	7006.8	11749.8	147.7	%
FR-B1-P0073-000-00-1S-1P-C001	4548.6	11630.5	16179.1	255.7	%
FR-B1-P0075-000-00-1S-1P-C001	4878.1	13898.1	18776.2	284.9	%
FR-B1-P0075-000-00-1S-1P-C002	3449.0	4316.7	7765.6	125.2	%
FR-B1-P0077-000-00-1S-1P-C002	2329.9	3369.4	5699.4	144.6	%
media				206.6	%

Fig. 3.10 – Allungamento % percorso utensile nesting a bassa efficienza

nome file	distanza				
	Tagli nesting [mm]	Tagli aggiuntivi [mm]	Tagli totali [mm]	ΔL %	
FR-B1-P0009-000-00-1S-1P-C001	7208.9	4936.7	12145.6	68.5	%
FR-B1-P0095-000-00-1S-1P-C001	2399.8	7569.2	9969.0	315.4	%
FR-B1-P0093-000-00-1S-1P-C002	16950.0	6667.5	23617.5	39.3	%
FR-B1-P0087-000-00-1S-1P-C002	11014.2	5489.8	16504.0	49.8	%
FR-B1-P0087-000-00-1S-1P-C001	4065.0	6648.5	10713.4	163.6	%
FR-B1-P0072-000-00-1S-1P-C004	51604.5	15015.0	66619.5	29.1	%
FR-B1-P0072-000-00-1S-1P-C003	66475.2	21076.5	87551.8	31.7	%
FR-B1-P0070-000-00-1S-1P-C002	40993.4	20120.1	61113.5	49.1	%
FR-B1-P0019-000-00-1S-1P-C002	12052.4	4900.2	16952.5	40.7	%
FR-B1-P0017-000-00-1S-1P-C002	4320.6	4071.8	8392.4	94.2	%
FR-B1-P0012-000-00-1S-1P-C002	79522.6	9031.8	88554.4	11.4	%
FR-B1-P0012-000-00-1S-1P-C003	50897.1	13114.0	64011.1	25.8	%
media				76.5	%

Fig. 3.11 – Allungamento % percorso utensile nesting ad alta efficienza

Come si può vedere l'allungamento % del percorso di taglio è considerevole nel caso dei percorsi a bassa efficienza dove la superficie dello sfrido è elevata e quindi il sizing è un'operazione importante, al contrario l'allungamento è notevolmente minore nel caso dei nesting a più elevata efficienza.

3.3.1 Tempi e costi

In questo paragrafo si andranno ad analizzare come variano le grandezze tempo e costo, in seguito all'introduzione di questa fase di sizing, al fine di valutarne una sua convenienza.

3.3.1.1 Tempi

Si consideri la grandezza tempo, si ipotizza che la velocità di avanzamento dell'utensile per il perimetro del nesting sia di circa 2500 mm/min, il che consentirebbe di riprodurre le geometrie desiderate con ottima qualità del taglio. Per quanto riguarda le linee di taglio che consentono il dimensionamento dello sfrido, la velocità potrà essere maggiore in quanto non è importante un'elevata qualità della superficie, per queste si considererà una velocità data dalla precedente moltiplicata per un coefficiente f . Quindi sono stati calcolati i tempi necessari per effettuare il taglio del percorso di nesting e i tempi necessari per effettuare il sezionamento dello sfrido rimanente. Questo calcolo è stato ripetuto per diversi valori di f , in modo da valutare il comportamento della grandezza tempo al variare della velocità di avanzamento dell'utensile.

$$T_{nesting} = \frac{L_{nesting}}{a}$$

$$T_{tagli\ aggiuntivi} = \frac{L_{tagli\ aggiuntivi}}{f * a}$$

Dove:

$T_{nesting}$ durata delle operazioni di taglio del perimetro di nesting

$T_{tagli\ aggiuntivi}$ durata delle operazioni di sezionamento dello sfrido

$L_{nesting}$ somma delle lunghezze dei segmenti necessari per il taglio del perimetro di nesting

$L_{tagli\ aggiuntivi}$ somma delle lunghezze dei segmenti necessari per il sezionamento dello sfrido

f fattore incremento della velocità di avanzamento nelle fasi di sizing

a velocità avanzamento dell'utensile

Quindi al variare di f è stato valutato il tempo totale necessario per effettuare il taglio e il sezionamento dello sfrido come:

$$T_{totale} = T_{nesting} + T_{tagli\ aggiuntivi}$$

E infine calcolato l'aumento % di tempo rispetto al caso in cui lo sfrido non venga sezionato:

$$\Delta T = \frac{T_{totale}}{T_{nesting}} * 100$$

Naturalmente i calcoli appena illustrati sono stati svolti sia per i nesting ad alta efficienza, che per quelli a bassa efficienza:

f	v [mm/min]	$\Delta T\%$	
1	2500	176.5	%
1.05	2625	172.9	%
1.1	2750	169.6	%
1.15	2875	166.6	%
1.2	3000	163.8	%
1.25	3125	161.2	%
1.3	3250	158.9	%
1.35	3375	156.7	%
1.4	3500	154.7	%
1.45	3625	152.8	%
1.5	3750	151.0	%
1.55	3875	149.4	%
1.6	4000	147.8	%
1.65	4125	146.4	%
1.7	4250	145.0	%
1.75	4375	143.7	%

f	v [mm/min]	$\Delta T\%$	
1	2500	306.6	%
1.05	2625	296.7	%
1.1	2750	287.8	%
1.15	2875	279.6	%
1.2	3000	272.1	%
1.25	3125	265.3	%
1.3	3250	258.9	%
1.35	3375	253.0	%
1.4	3500	247.5	%
1.45	3625	242.5	%
1.5	3750	237.7	%
1.55	3875	233.3	%
1.6	4000	229.1	%
1.65	4125	225.2	%
1.7	4250	221.5	%
1.75	4375	218.0	%

Fig. 3.12 – Aumento % tempo di taglio utensile - nesting ad alta efficienza (sinistra),
nesting a bassa efficienza (destra)

Quindi i precedenti valori sono stati riassunti in un grafico:

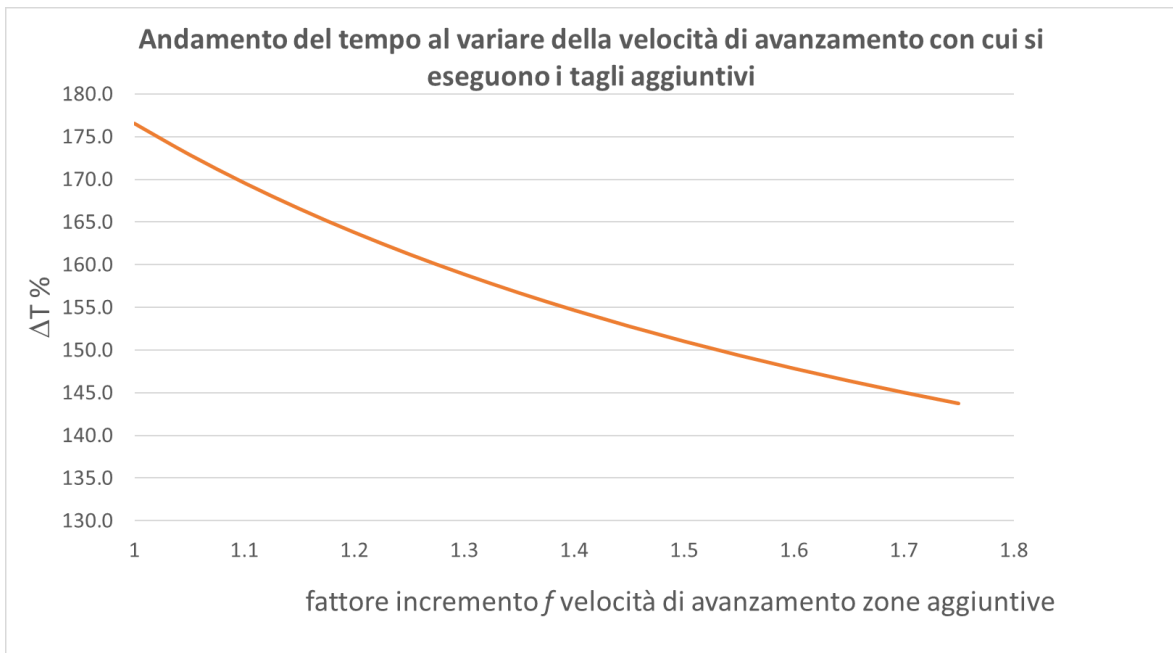


Fig. 3.13 – Aumento % tempo di taglio in funzione del fattore di incremento f della velocità di avanzamento dell'utensile nel sezionamento dello sfrido rispetto a quelle del nesting – alta efficienza

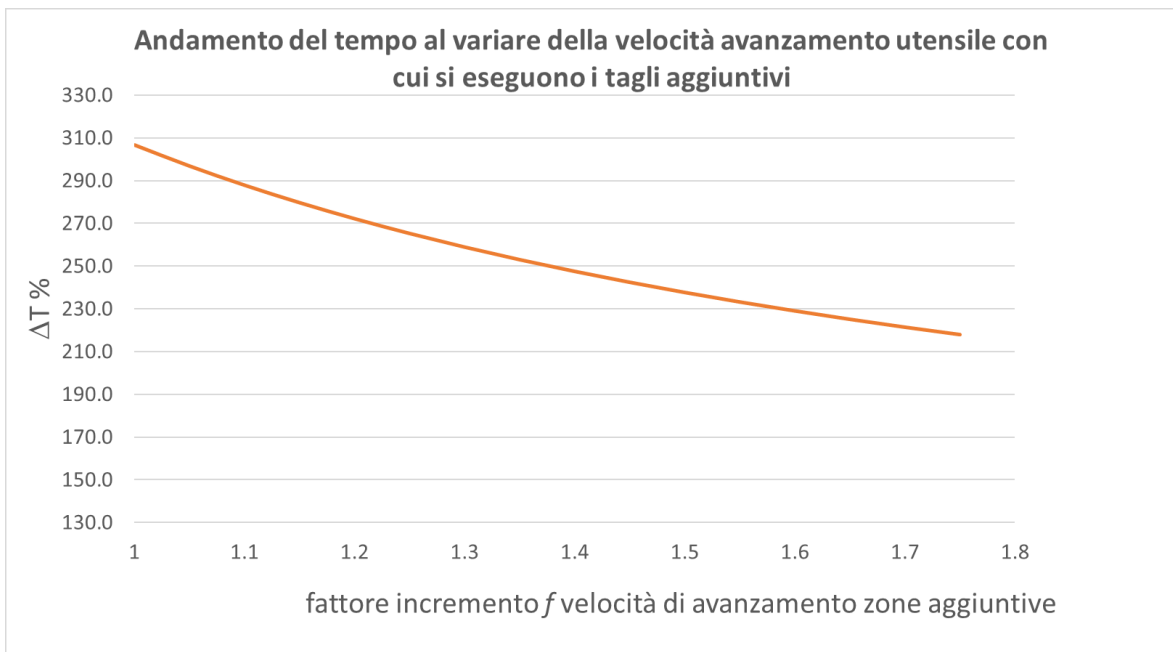


Fig. 3.14 – Aumento % tempo di taglio in funzione del fattore di incremento f della velocità di avanzamento dell'utensile nel sezionamento dello sfrido rispetto a quelle del nesting – bassa efficienza

Come è facile intuire il tempo necessario a completare il processo di taglio aumenta, avendo aggiunto un percorso che prima non era presente, di quasi il 180% nel caso dei nesting ad alta efficienza e addirittura di più del 300% nel caso di quelli a bassa efficienza. All'aumentare del fattore f , questo aumento di tempo viene progressivamente recuperato. Per avere una panoramica più completa della convenienza del processo è necessario però prendere in considerazione la variazione dei costi legati a queste modifiche.

3.3.1.2 Costi

La valutazione della variazione dei costi legata all'aumento del percorso dell'utensile risulta tutt'altro che banale e legata a parametri di costo di cui soltanto l'azienda Hp Composites è in possesso, per cui quella proposta è una stima delle principali voci di costo legate al cambiamento in atto. Il costo che è necessario sostenere per le operazioni di taglio sarà dovuto alle seguenti voci:

- Usura dell'utensile
- Costo della manodopera
- Costo dell'energia elettrica
- Costo delle operazioni di set up

Quindi riassunte nella seguente espressione:

$$C = C_u + C_m + C_e + C_s$$

Analizziamo quindi nel dettaglio ognuna delle precedenti voci di costo.

3.3.1.2.1 COSTO LEGATO ALL'USURA DELL'UTENSILE

Durante il processo di taglio come è noto l'utensile di taglio è soggetto ad usura, questo processo dipende da vari parametri come:

- La velocità di taglio
- La velocità di avanzamento dell'utensile
- La profondità di passata
- Il materiale dell'utensile

Al fine di valutare la durata dell'utensile nelle varie condizioni di esercizio è stata utilizzata la legge di Taylor generalizzata che lega i parametri precedentemente accennati secondo la seguente relazione non lineare:

$$v_t * D^n * a^r * p^s = C$$

Dove:

v_t è la velocità di taglio posseduta dall'utensile [m/min]

D durata dell'utensile [min]

a velocità di avanzamento posseduta dell'utensile [mm/min]

p profondità di passata [mm]

r sensibilità della durata all'avanzamento

s sensibilità della durata alla profondità di passata

L'azienda Hp Composites effettua il taglio del materiale composito pre-impregnato attraverso un pantografo sulla quale è installata una lama liscia oscillante. La lama considerata è realizzata in acciaio rapido quindi per quanto riguarda il valore dei vari parametri citati sono stati presi in considerazione quelli elencati nella tabella in Fig. 3.15. Il processo di taglio in questione come si può ben capire essendo effettuato con una lama oscillante, si compone di una sola passata, quindi all'interno della legge generalizzata di

Taylor è stato considerato $p=1$. Infine, è stata quindi valutata la durata dell'utensile attraverso la formulazione inversa della precedente.

$$D = \sqrt[n]{\frac{C}{v_t * a^r * p^s}}$$

Parametro	Valore	
C	60	m/min
r	0.6	
n	0.15	
s	0.15	
p	1	mm

Fig. 3.15 – Parametri utilizzati nel calcolo della durata dell'utensile

Restano quindi due parametri da definire la velocità di taglio e quella di avanzamento dell'utensile. Per la prima si è considerata una velocità costante pari a $v_t=220$ m/min (data dal movimento oscillatorio della lama), la seconda invece è stata considerata pari ad $a=2500$ mm/min per il taglio dei profili del nesting (velocità che consente di riprodurre con fedeltà e qualità anche geometrie fortemente complesse) e pari alla stessa moltiplicata per il fattore f , di cui sopra, nel caso del percorso finalizzato al sezionamento dello sfrido. Una volta calcolata la durata dell'utensile, questa è stata utilizzata per calcolare il costo legato all'usura dell'utensile al variare della velocità di avanzamento dell'utensile.

$$C_{u\ nesting} = \frac{T_{nesting}}{D_{nesting}} * C_{utensile}$$

$$C_{u\ tot} = \frac{T_{nesting}}{D_{nesting}} * C_{utensile} + \frac{T_{tagli\ aggiuntivi}}{D_{tagli\ aggiuntivi}} * C_{utensile}$$

Dove:

$C_{u \text{ nesting}}$ è la voce di costo legata all'usura dell'utensile nel caso vengano eseguiti solo i tagli necessari a ricavare il perimetro dei nesting

$C_{u \text{ tot}}$ è la voce di costo legata all'usura dell'utensile nel caso vengano eseguiti sia i tagli necessari a ricavare il perimetro dei nesting che quelli per il sezionamento dello sfrido

D_{nesting} vita utile dell'utensile se fossero eseguite solo le operazioni di taglio del perimetro di nesting

$D_{\text{tagli aggiuntivi}}$ vita utile dell'utensile se fossero eseguite solo le operazioni di sezionamento dello sfrido

T_{nesting} durata delle operazioni di taglio del perimetro di nesting

$T_{\text{tagli aggiuntivi}}$ durata delle operazioni di sezionamento dello sfrido

3.3.1.2.2 COSTO DELLA MANODOPERA

Per valutare il costo della manodopera è stato semplicemente considerato che dovrà essere presente un operatore per tutto il tempo necessario a completare l'operazione di taglio, quindi è stato sintetizzato come:

$$C_{m \text{ nesting}} = C_h * T_{\text{nesting}}$$

$$C_{m \text{ tot}} = C_h * (T_{\text{nesting}} + T_{\text{tagli aggiuntivi}})$$

C_m costo della manodopera

C_h costo orario della manodopera

3.3.1.2.3 COSTO DELL'ENERGIA ELETTRICA

Il pantografo utilizzato per le operazioni di taglio è naturalmente alimentato da energia elettrica necessaria per movimentare la testa di taglio, per far oscillare la lama e conferire quindi la v_t . Al fine di stimare il costo dell'energia elettrica è stata supposta una relazione lineare tra la velocità di avanzamento della testa di taglio e il consumo di energia dei motori responsabili del suo moto, in particolare:

$$C_{e\ nesting} = P_m * C_{h\ energia\ elettrica} * T_{nesting}$$

$$C_{e\ tot} = P_m * C_{h\ energia\ elettrica} * T_{nesting} + P_m * f * C_{h\ energia\ elettrica} * T_{tagli\ aggiuntivi}$$

$C_{e\ nesting}$ è il costo energetico nel caso vengano eseguiti solo i tagli necessari a ricavare il perimetro dei nesting

$C_{e\ tot}$ è il costo energetico nel caso vengano eseguiti sia i tagli necessari a ricavare il perimetro dei nesting che quelli per il sezionamento dello sfrido

P_m è la potenza elettrica dei motori

$C_{h\ energia\ elettrica}$ è il costo orario dell'energia elettrica sostenuto dall'azienda

3.3.1.2.4 COSTO DI SET-UP

Il costo di set up è il costo delle operazioni preliminari alla fase di taglio necessarie per preparare la macchina al suo lavoro. Consiste nella stesura del materiale pre-impregnato sul piano di lavoro, il bloccaggio dello stesso, il settaggio dei parametri della macchina e quando necessario la sostituzione dell'utensile di taglio usurata. Per questa voce di costo è stato ipotizzato un valore che non subisce variazioni nel caso in cui venga effettuato o meno il taglio dello sfrido.

Una volta quindi valutate tutte le voci di costo e calcolate al variare di f (che è stato considerato variabile tra 1 e 1.75), sono stati calcolati il costo che sarebbe necessario sostenere nel caso si eseguano solo i tagli per ottenere i nesting e il costo che sarebbe necessario sostenere nel caso si eseguano anche i tagli per il sezionamento dello sfrido, quindi è stata valutata la variazione % di costo tra i due casi.

$$C_{nesting} = C_{u\ nesting} + C_{m\ nesting} + C_{e\ nesting} + C_s$$

$$C_{tot} = C_{u\ tot} + C_{m\ tot} + C_{e\ tot} + C_s$$

$$\Delta C = \frac{C_{totale}}{C_{nesting}} * 100$$

I dati sono quindi stati raccolti in tabella (Fig. 3.16) e poi rappresentati in forma grafica (Fig. 3.17 - 3.18) sia per i nesting definiti ad alta efficienza che per quelli definiti a bassa efficienza.

f	a [mm/min]	$\Delta C\%$	
1	2500	135.9324	%
1.05	2625	134.9095	%
1.1	2750	134.0785	%
1.15	2875	133.4235	%
1.2	3000	132.9318	%
1.25	3125	132.5931	%
1.3	3250	132.399	%
1.35	3375	132.3427	%
1.4	3500	132.4189	%
1.45	3625	132.6231	%
1.5	3750	132.952	%
1.55	3875	133.4029	%
1.6	4000	133.9736	%
1.65	4125	134.6628	%
1.7	4250	135.4694	%
1.75	4375	136.3928	%

f	a [mm/min]	$\Delta C\%$	
1	2500	160.6586	%
1.05	2625	158.9318	%
1.1	2750	157.5289	%
1.15	2875	156.4232	%
1.2	3000	155.5931	%
1.25	3125	155.0213	%
1.3	3250	154.6936	%
1.35	3375	154.5987	%
1.4	3500	154.7273	%
1.45	3625	155.0721	%
1.5	3750	155.6273	%
1.55	3875	156.3884	%
1.6	4000	157.3519	%
1.65	4125	158.5154	%
1.7	4250	159.877	%
1.75	4375	161.4358	%

Fig. 3.16 – Aumento % costo di taglio - nesting ad alta efficienza (sinistra), nesting a bassa efficienza (destra)

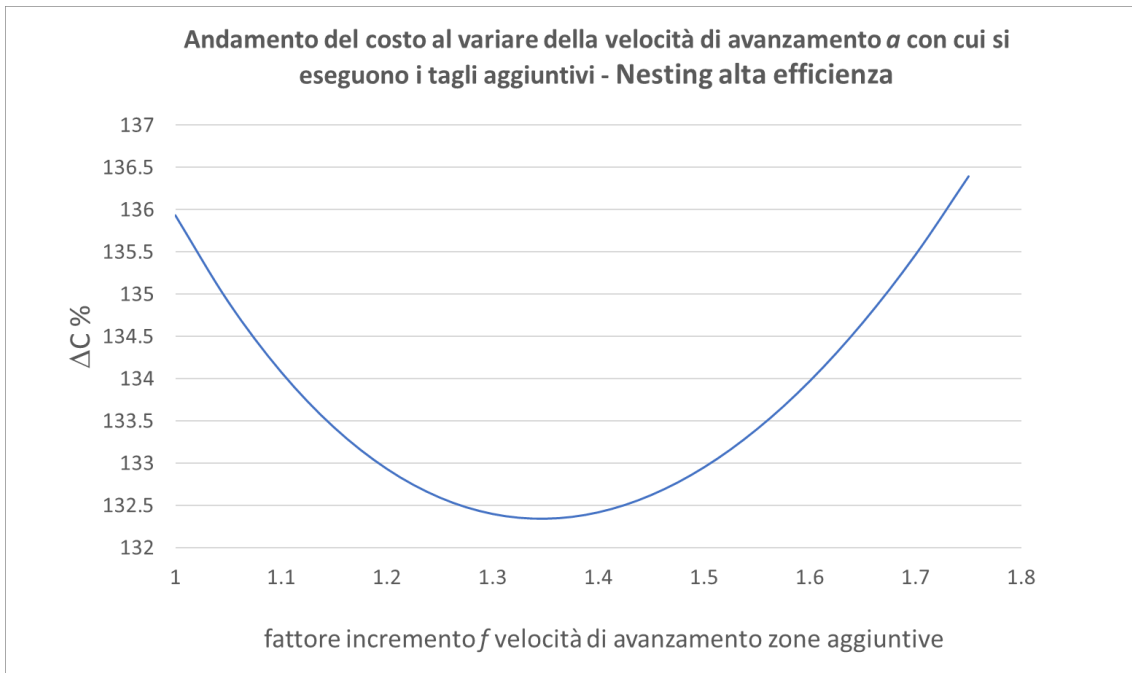


Fig. 3.17 – Aumento % costo di taglio in funzione del fattore di incremento f della velocità di avanzamento dell'utensile nel sezionamento dello sfrido rispetto a quelle del nesting – alta efficienza

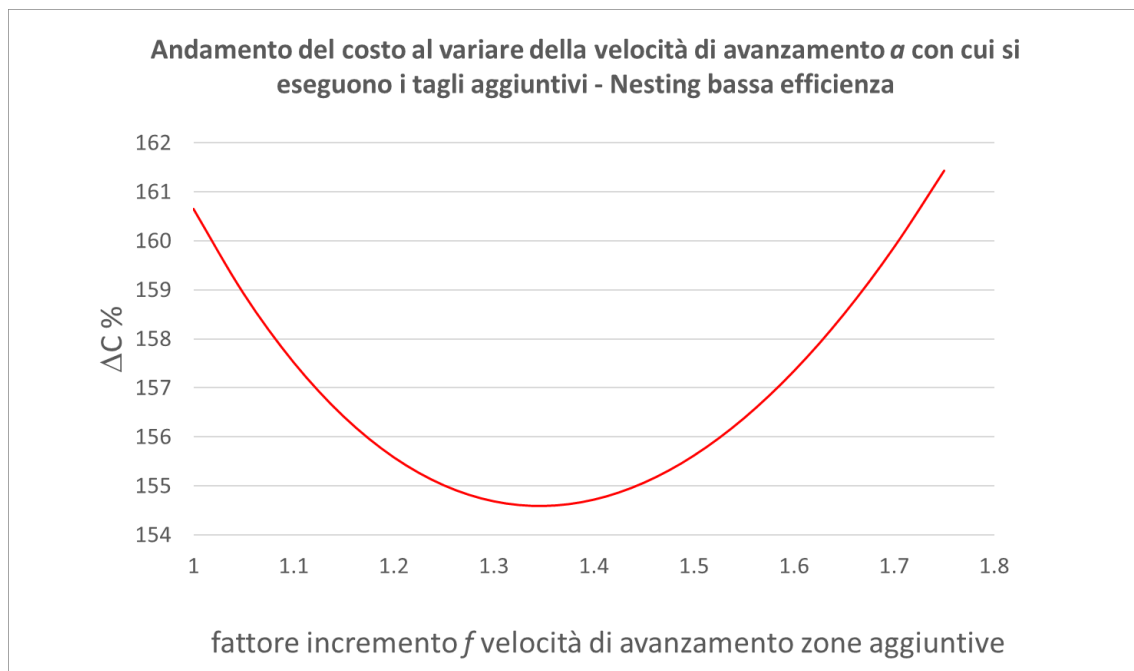


Fig. 3.18 – Aumento % costo di taglio in funzione del fattore di incremento f della velocità di avanzamento dell'utensile nel sezionamento dello sfrido rispetto a quelle del nesting – bassa efficienza

Dalla precedente analisi sui tempi si evince come l'incremento sia maggiore nel caso dei nesting a bassa efficienza, rispetto a quelli ad alta efficienza. Si nota come l'aumento % di tempo di taglio complessivo sia legato al solo fattore f e non alla velocità di taglio del perimetro del nesting, quindi la convenienza sarà tanto maggiore quanto più basso sarà lo standard di qualità richiesto per il sizing. Dall'analisi sui costi invece si nota come, sia nel caso dei nesting ad alta efficienza che in quelli a bassa efficienza, la curva di costo assuma una caratteristica forma ad U, con un minimo che si ottiene in entrambi in casi per valori di f compresi tra 1.3 ed 1.4. Nel caso dei nesting ad alta efficienza si avrà un aumento dei costi pari al 132.4% e pari al 154.6% nel caso dei nesting a bassa efficienza. A differenza di quanto emerge dall'analisi sull'incremento del tempo necessario per il taglio, in questo caso non è conveniente aumentare eccessivamente la velocità di avanzamento dell'utensile, in particolare si ottiene l'ottimo per valori compresi tra 3250 mm/min e 3500 mm/min. Il vantaggio di effettuare l'operazione di sezionamento dello sfrido insieme a quella di taglio del nesting dipenderà non solo da fattori di tipo economico come: costo orario del taglio, costo dell'utensile in termini di usura, costo dell'energia elettrica ecc..., ma anche dalla possibilità di effettuare l'operazione di dimensionamento dello sfrido su materiale già orientato, disposto orizzontalmente e bloccato su un piano di taglio e non aggrovigliato su se stesso (le operazioni di districamento e posizionamento dello sfrido richiederebbero tempi aggiuntivi di set up e costi di manodopera). Questo tipo di analisi verrà quindi svolta internamente all'azienda Hp Composites in possesso di questi dati non divulgabili a soggetti esterni all'azienda stessa.

4 La macchina spellicolatrice

Dopo una prima sommaria osservazione del processo produttivo e dei materiali in questione, è stato valutato come punto critico (per la difficoltà di effettuarlo già manualmente) la rimozione della pellicola del pre-preg. Per effettuare l'operazione manualmente, occorre cercare di grattare con un'unghia uno spigolo del pezzo, quindi sollevare leggermente la punta del film, agganciarlo e tirarlo via; un procedimento simile a quello utilizzato per gli adesivi o le figurine. Si deve quindi ripetere il procedimento per l'altro lato.

La difficoltà principale è data da:

- la forza con cui la resina aderisce al film
- lo spessore molto sottile delle parti
- la flessibilità del pre-preg
- la facilità con cui il tessuto si sfibra

Al diminuire della temperatura del prodotto, si ha un aumento della viscosità della resina, che comporta un irrigidimento del pezzo. Il primo passo è quindi stato quello di osservare il comportamento del materiale al variare della temperatura. Ad una temperatura di circa $+4^{\circ}\text{C}$ (frigorifero domestico), i particolari sono generalmente rigidi ma è ancora possibile piegarli con estrema facilità, il film appare ancora molto coeso. Portando la temperatura a circa -18°C (congelatore domestico), il film appare ancora aderente e i particolari sono rigidi, è ancora possibile piegarli applicando una discreta forza. Durante la piegatura del pezzo però, la resina non è più in grado di seguire lo slittamento della pellicola, con il risultato dello scollamento del film dal materiale composito. Fattore molto importante è che le chips hanno un'inerzia termica molto bassa, dovuta a:

- massa ridotta
- spessore ridotto

- elevato rapporto superficie/volume
- elevata conducibilità termica del materiale

per cui toccandole direttamente con le mani si provoca un rapido aumento della temperatura, con il conseguente ritorno alle proprietà di temperatura ambiente. Per effettuare i test preliminari si è quindi fatto uso di pinze e altri utensili refrigerati, in modo da non influenzare la temperatura di prova.

4.1 Il primo prototipo

Da alcune prove sperimentali un metodo valido per favorire il distacco del film si è rivelata la piega alternata, verso l'alto e verso il basso, e ripetuta dell'intero pezzo congelato. Volendo far svolgere questa azione da una macchina, si è pensato di realizzare due ruote dentate contrapposte tra le quali far passare il prodotto e obbligarlo così a piegarsi.

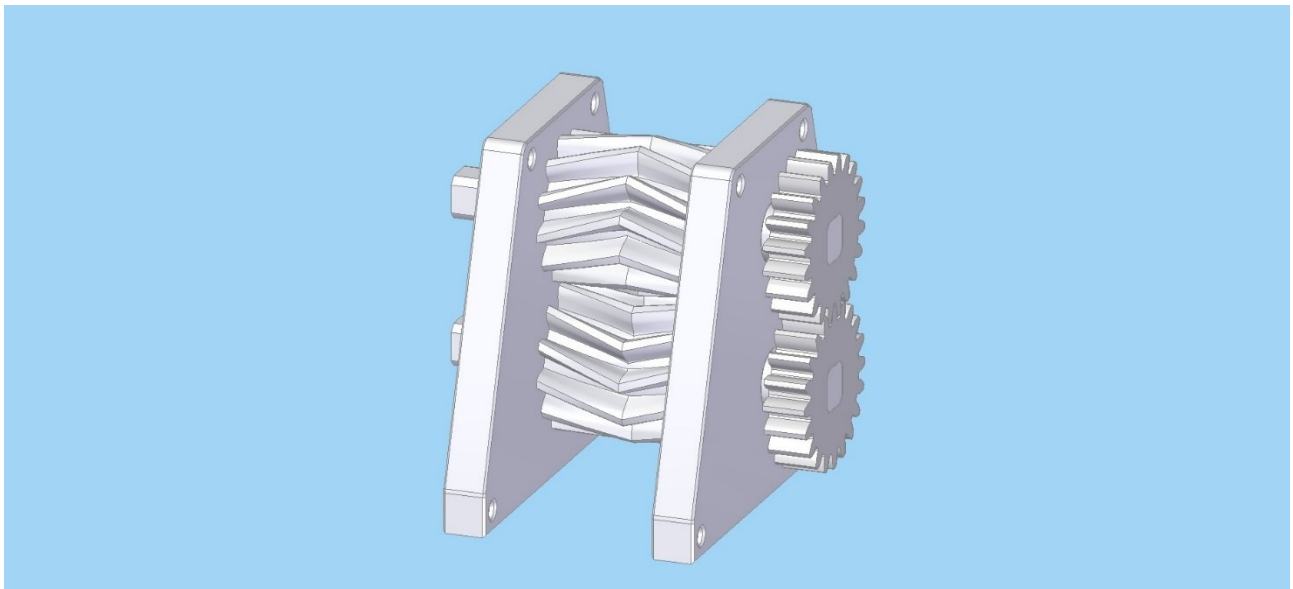


Fig. 4.1 – Prototipo 1

Le ruote dentate sono state pensate con un profilo inclinato contrapposto (double chevron) in modo da creare la piega lungo assi diversi dall'avanzamento e limitare l'eventuale slittamento assiale del prepreg. Inoltre, la dentatura è stata realizzata con un angolo di pressione di 15° (quindi inferiore allo standard) in modo da aumentare l'effetto piega a parità di interasse tra le ruote. Il moto è conferito attraverso una manovella che mette in rotazione l'albero motore sul quale è calettata la prima coppia di ingranaggi, mentre sull'albero condotto è calettata la seconda coppia di ingranaggi. La sincronizzazione tra la gola di una ruota e il dente dell'altra ruota è data da una coppia di ingranaggi esterni che trasmettono il moto. Il modellino è stato quindi realizzato in prototipazione rapida, con l'ausilio di una stampante 3D, in acido polilattico (PLA) e assemblato con dei tiranti in barra filettata d'acciaio.

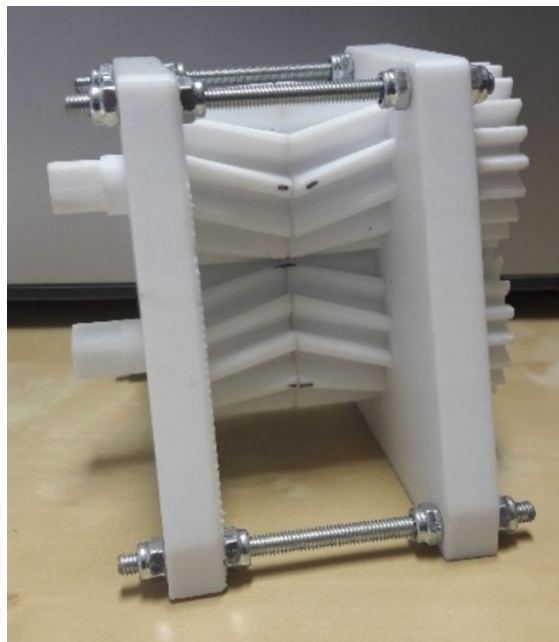


Fig. 4.2 – Prototipo 1 realizzato in prototipazione rapida con l'ausilio di una stampante 3D

Una volta realizzato il primo prototipo è stato effettuato un primo test per verificarne la funzionalità ed evidenziarne le eventuali criticità. Il prototipo, insieme a campioni di pre-

preg e alle pinze per la manipolazione sono stati refrigerati in un congelatore ad uso domestico, quindi alla temperatura di -18°C . Sono state quindi effettuate alcune prove.

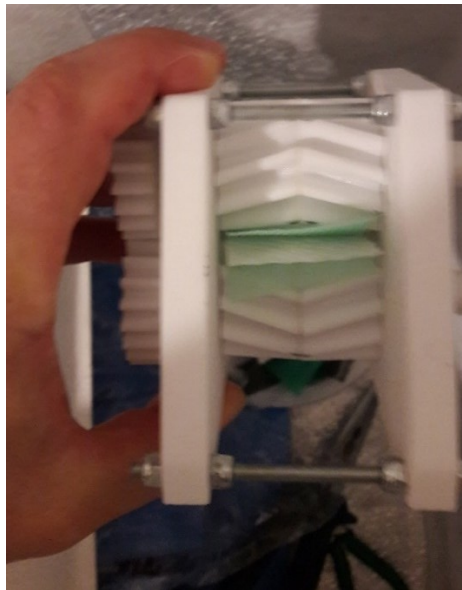


Fig. 4.3 – Test del prototipo 1

Il modellino ha funzionato egregiamente sul pre-preg in fibra di vetro, molto bene anche su pre-preg di grosso spessore, le difficoltà maggiori sono state riscontrate per spessori sottili del campione, in questo caso non sempre è stata possibile la rimozione della pellicola.

4.1.1 Analisi dei risultati

I risultati non sufficienti sono presumibilmente da attribuire ad uno scarso grado di piegatura del prodotto; il prototipo è stato, infatti, realizzato ad interasse fisso, quindi non è possibile regolare la distanza tra le ruote dentate in funzione dello spessore del campione da elaborare, di conseguenza i campioni a minor spessore vengono appena sfiorati dai denti e non si flettono a sufficienza. Lo step successivo consiste nella realizzazione di un sistema che sia in grado di imporre una maggior piegatura al campione ripetendo l'operazione in più passaggi per avere maggiore probabilità di riuscire nell'intento. Quindi caratteristiche fondamentali del prototipo 2 dovranno essere ingranaggi più ampi e interassi regolabili.

4.2 Il prototipo 2

Lo sviluppo del prototipo 2 è partito dal fatto che la piega alternata ripetuta dell'intero pezzo congelato nel prototipo precedente si è rivelata una soluzione vincente. La piega realizzata attraverso ingranaggi elicoidali è stata ripresa, portando però il numero di assi da 2 a 6 in modo da poter essere effettuata in 3 step successivi. La macchina è quindi stata pensata in modo tale che ci sia una parte fissa ed una mobile per poter consentire una regolazione dello spessore delle chips accettate dalla macchina.

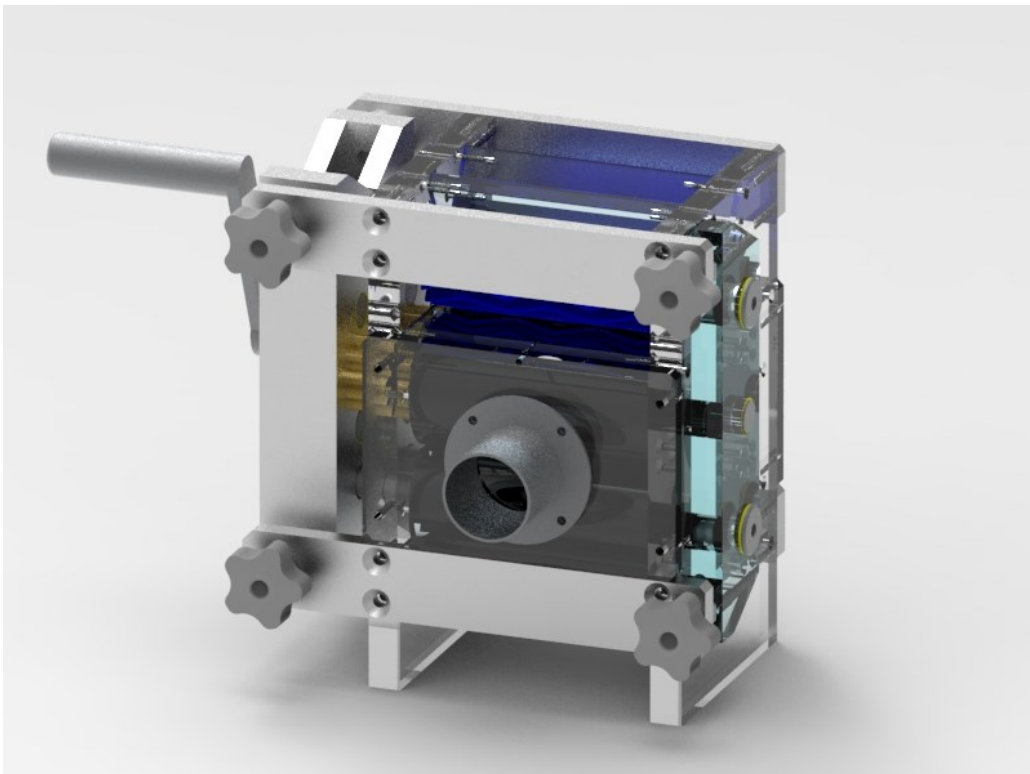


Fig. 4.4 – Rendering del prototipo 2

Analizziamo ora nel dettaglio la macchina.

4.2.1 Il telaio

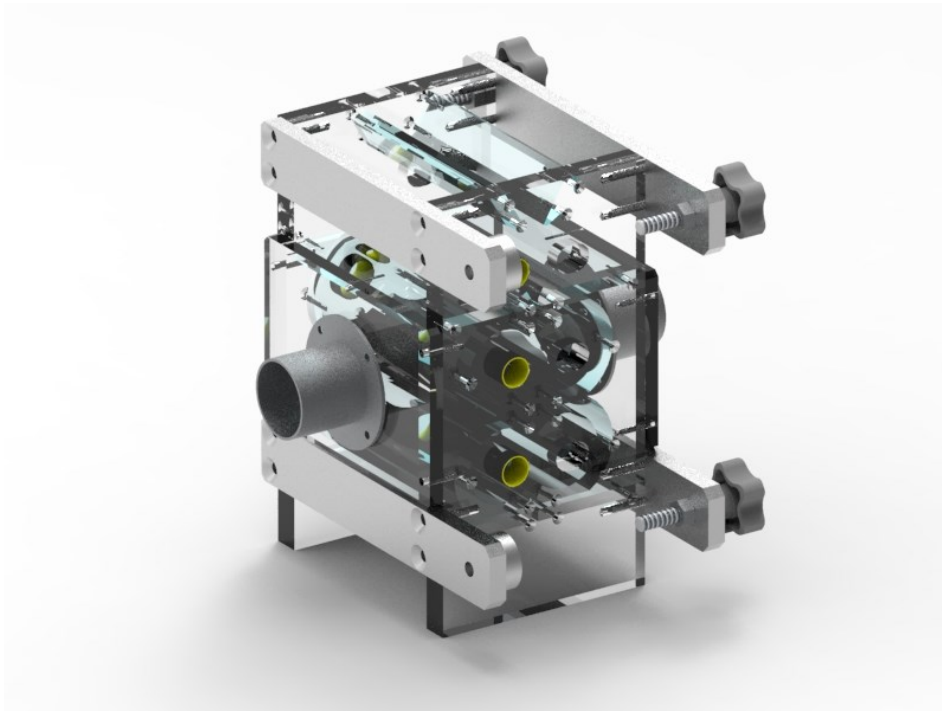


Fig. 4.5 – Rendering del telaio del prototipo 2

Il telaio è stato realizzato in modo da risolvere la problematica legata alla regolazione dell'interasse degli ingranaggi, e quindi della macchina, in funzione dello spessore del materiale in entrata. A tal fine è stata realizzata una parte fissa della macchina che appunto non si muove e una parte mobile. Lo spostamento della parte mobile è definito dalle manopole di regolazione (visibili in Fig. 4.5) che regolano lo spostamento dei 3 alberi mobili. Le spalle della struttura sono costituite da piastre sulle quali sono stati realizzati appositi fori per permettere l'installazione di boccole che consentano la rotazione degli alberi fissi. In maniera analoga sono state realizzate asole dove andranno posizionati gli alberi mobili, così da permettere la regolazione dell'interasse tra gli ingranaggi montati su albero mobile e fisso. Sul lato corto della piastra sono stati realizzati dei fori filettati che consentano il montaggio. L'intera struttura è tenuta insieme da appositi supporti attraverso viti. A questa struttura principale sono fissati altri componenti fondamentali per il funzionamento della macchina.



Fig. 4.6 - Rendering del componente del telaio “imbocco”

Il primo è l'imbocco, il suo compito è quello di accogliere il materiale in ingresso, esso è costituito da due piastre inclinate per obbligare le chips a passare nel meato tra di esse compreso che le condurrà alla prima coppia di ingranaggi controrotanti. Lo smusso sul lato corto consente al componente di avvicinarsi notevolmente alla ruota dentata lasciando un spazio molto piccolo tra ruota e imbocco, così da impedire che la chip prenda strade alternative a quella prestabilita.



Fig. 4.7 - Rendering del componente del telaio “deflettore in ingresso della pellicola”

Il secondo componente aggiuntivo è il deflettore di ingresso della pellicola, esso ha il compito di ricevere la chips e farla proseguire dritta alla prossima coppia di ingranaggi rotanti. Lo smusso realizzato sul lato corto svolge la funzione di invito alla chip.

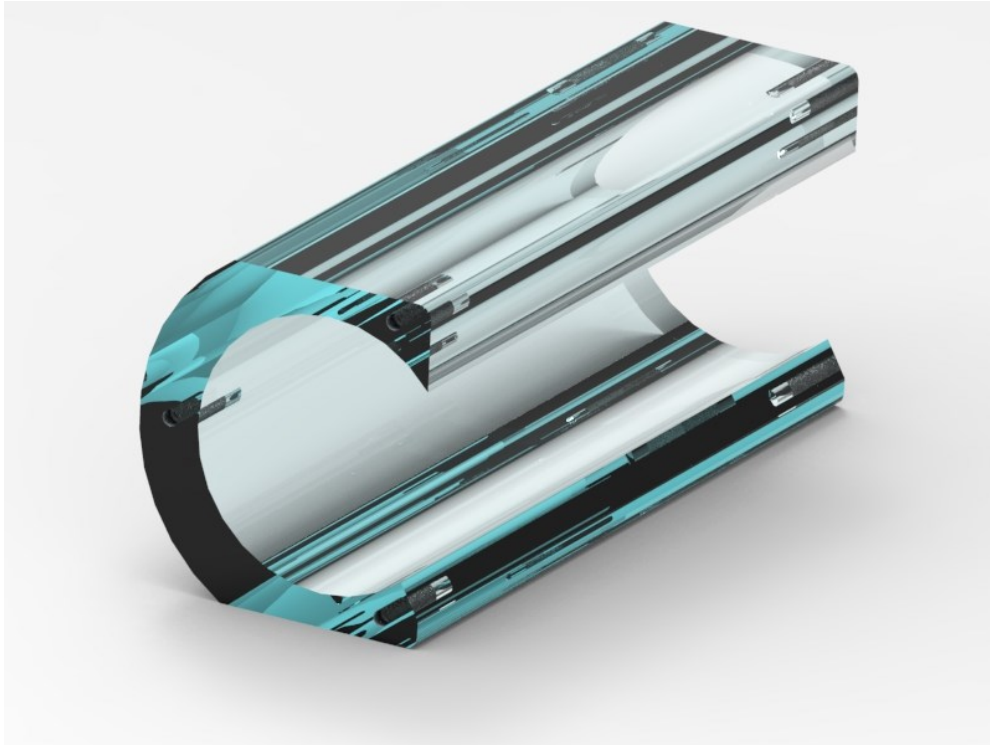


Fig. 4.8 - Rendering del componente del telaio “deflettore centrale della pellicola”

Il terzo componente aggiuntivo è il deflettore centrale della pellicola, ne sono state installate due coppie, la loro forma a C avvolge l'intero asse mobile. L'aspirazione realizzata tra questo componente e il deflettore centrale della pellicola consente di tirare via la pellicola protettiva in PE dalla chip, quindi l'angolo retto realizzato nella parte superiore del componente costringe la chip a continuare il suo percorso per essere sottoposta ad una nuova piega. Infine ancora una volta, lo smusso nella parte inferiore ha la funzione di invito per la pellicola in uscita.

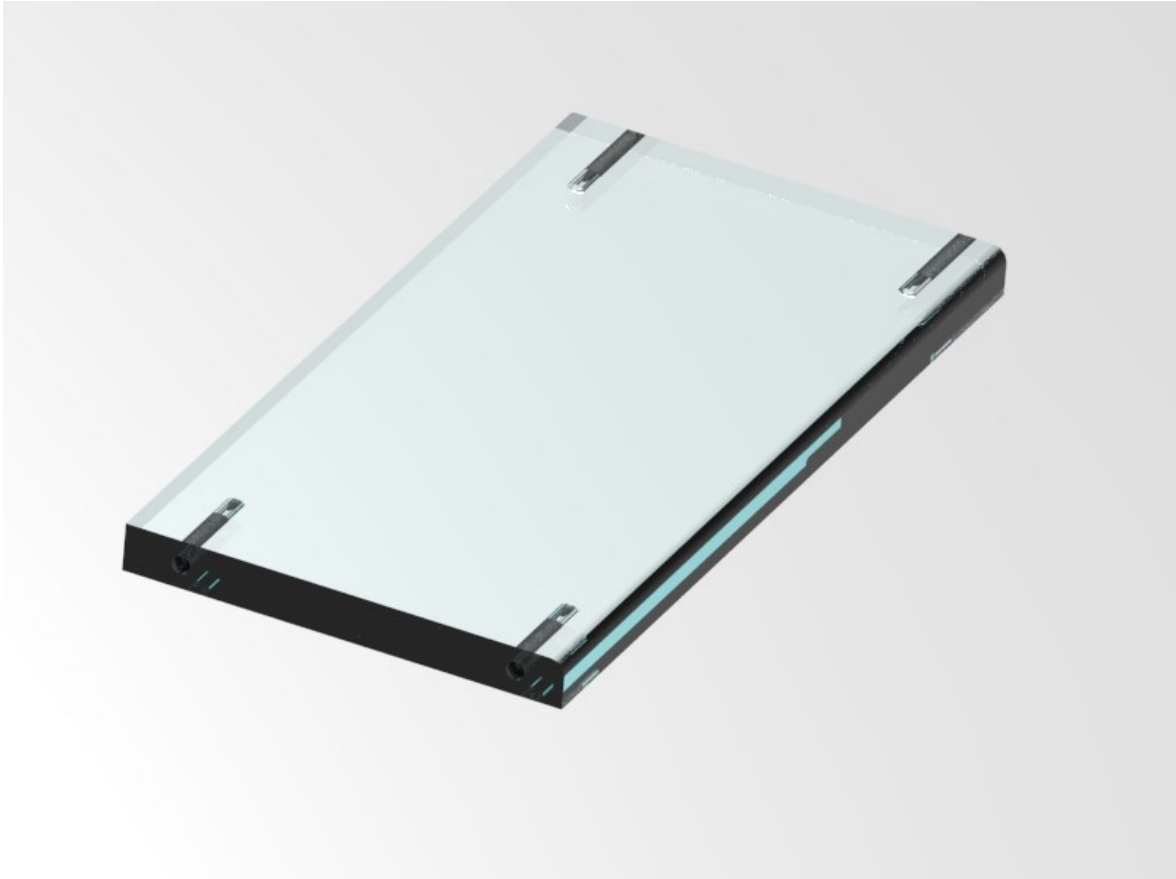


Fig. 4.9 - Rendering del componente del telaio “deflettore in uscita della pellicola”

L'ultimo componente aggiuntivo è costituito dal deflettore in uscita della pellicola, esso ha il compito di accogliere la chip in uscita dalla macchina spellicolatrice, ormai priva della pellicola di PE. Tra questo componente e il deflettore centrale della pellicola è realizzata un'aspirazione per effettuare un secondo tentativo di rimozione della pellicola. Per quanto riguarda la scelta dei materiali per i supporti fissi e mobili è stato scelto l'alluminio materiale che capace di resistere a carichi elevati e caratterizzato da bassa densità, ideale quindi per realizzare strutture leggere in grado di sopportare carichi medio/alti. Per quanto riguarda il corpo centrale (le spalle, l'imbocco e i deflettori di ingresso, centrali e di uscita della pellicola), questo è stato realizzato in lexan trasparente in modo da avere elevata trasparenza e quindi consentire l'osservazione del funzionamento del prototipo, al tempo stesso questo materiale offre una discreta rigidità, seppur in questo caso i carichi in gioco siano modesti.

4.2.2 L'asse fisso motore

L'asse fisso motore è l'asse a cui viene trasmessa la coppia motrice e quindi che impone il moto, esso è stato realizzato utilizzando un albero di diametro $\phi 15\text{mm}$ e disponendo 6 ingranaggi elicoidali contrapposti a coppie per realizzare la piega (visibili in Fig. 4.10, di colore blu), un ingranaggio per realizzare in sincronismo del moto con l'albero mobile motore (visibili in Fig.4.10, di colore oro) e un ingranaggio per trasmettere la coppia in entrata alle altre due coppie di alberi (visibili in Fig.... , di colore nero) che poi analizzeremo.

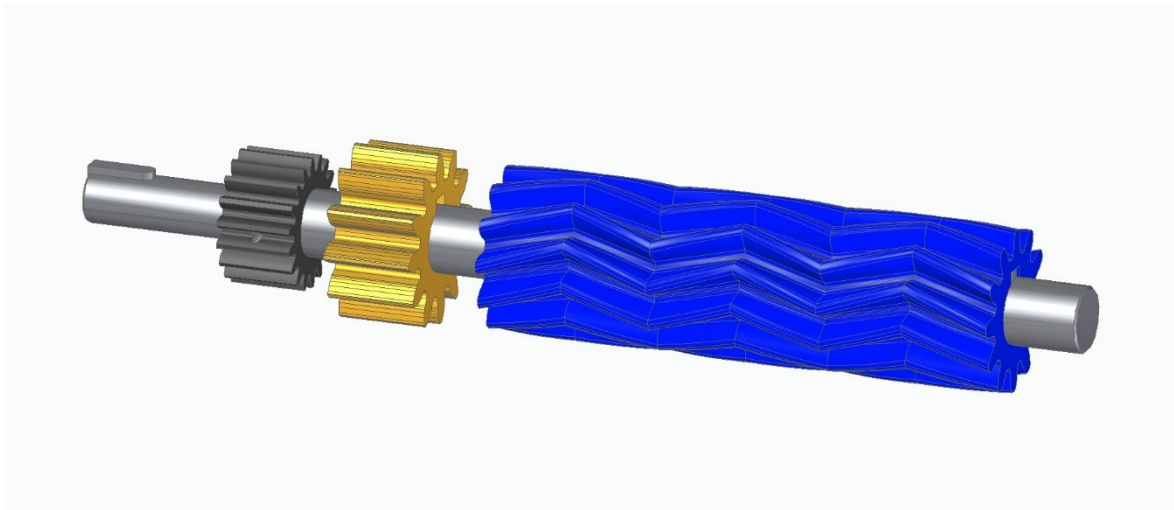


Fig. 4.10 - Rendering dell'assieme "asse fisso motore"

4.2.2.1 L'ingranaggio elicoidale

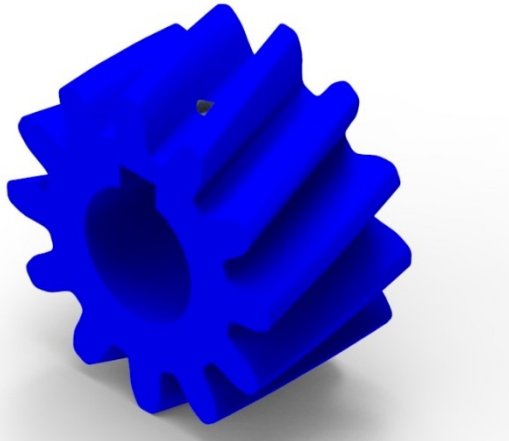


Fig. 4.11 - Rendering del componente “ingranaggio elicoidale”

L'ingranaggio a denti elicoidali Z12 M2,5 ha un diametro primitivo di 30mm, possiede un angolo di pressione di 15° e un angolo d'elica di 15° . Sull'ingranaggio è stato realizzato un foro passante per rendere possibile il calettamento sull'albero, inoltre è stata realizzata la sede per la chiavetta corrispondente a quella che è presente sull'albero stesso. La sede della linguetta è stata realizzata in fase con gola dente in modo tale che tutti gli ingranaggi posseggano la stessa fasatura. Sulla gola del dente è stato realizzato anche un foro per un grano che blocchi lo scorrimento assiale sull'albero. La scelta è ricaduta su questa tipologia di ingranaggio in quanto accoppiandoli in coppie contrapposte si è in grado di impartire una piega su assi sghembi e quindi di provocare il distacco del film.

4.2.2.2 L'ingranaggio di sincronismo a denti dritti



Fig. 4.12 - Rendering del componente “ingranaggio di sincronismo a denti dritti”

L'ingranaggio a denti dritti Z12 M2,8 ha un diametro primitivo di 33.6 mm, possiede un angolo di pressione di 15°. Sull'ingranaggio è stato realizzato un foro passante per rendere possibile il calettamento sull'albero, inoltre è stata realizzata la sede per la chiavetta corrispondente a quella che è presente sull'albero stesso. La sede della linguetta è stata realizzata in fase con gola dente in modo tale che tutti gli ingranaggi posseggano la stessa fasatura. Questo ingranaggio ha il compito di trasferire la coppia in entrata sull'albero fisso motore all'asse mobile motore, quindi è responsabile del sincronismo della parte fissa della macchina con la parte mobile.

4.2.2.3 L'ingranaggio di trasferimento a denti dritti

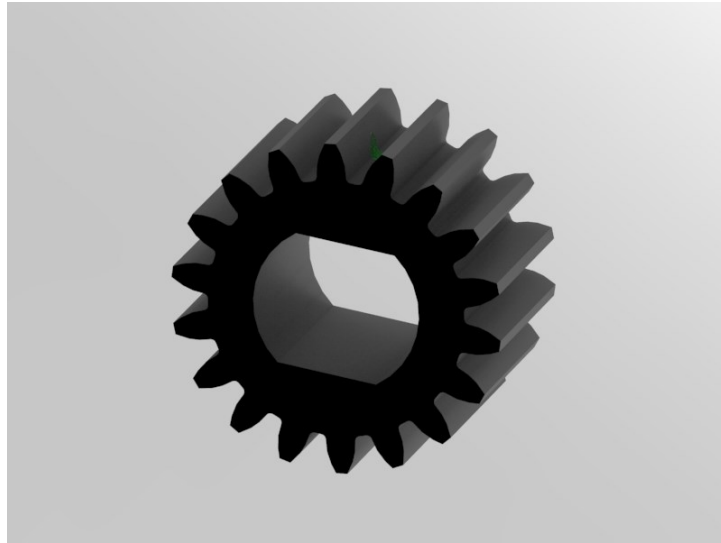


Fig. 4.13 - Rendering del componente “ingranaggio di trasferimento a denti dritti”

L'ingranaggio a denti dritti Z18 M1,5 ha un diametro primitivo di 27 mm, possiede un angolo di pressione di 15°. Sull'ingranaggio è stato realizzato un foro passante per rendere possibile il calettamento sull'albero, inoltre è stata realizzata la spianatura corrispondente a quella che è presente sull'albero stesso. Sulla gola del dente è stato realizzato anche un foro per un grano che blocchi lo scorrimento assiale sull'albero. Questo ingranaggio ha il compito di trasferire la coppia in entrata sull'albero fisso motore agli altri alberi del lato fisso della macchina e di trasferire la coppia in entrata sull'albero mobile condotto agli altri alberi della parte mobile della macchina.

4.2.3 L'asse mobile motore

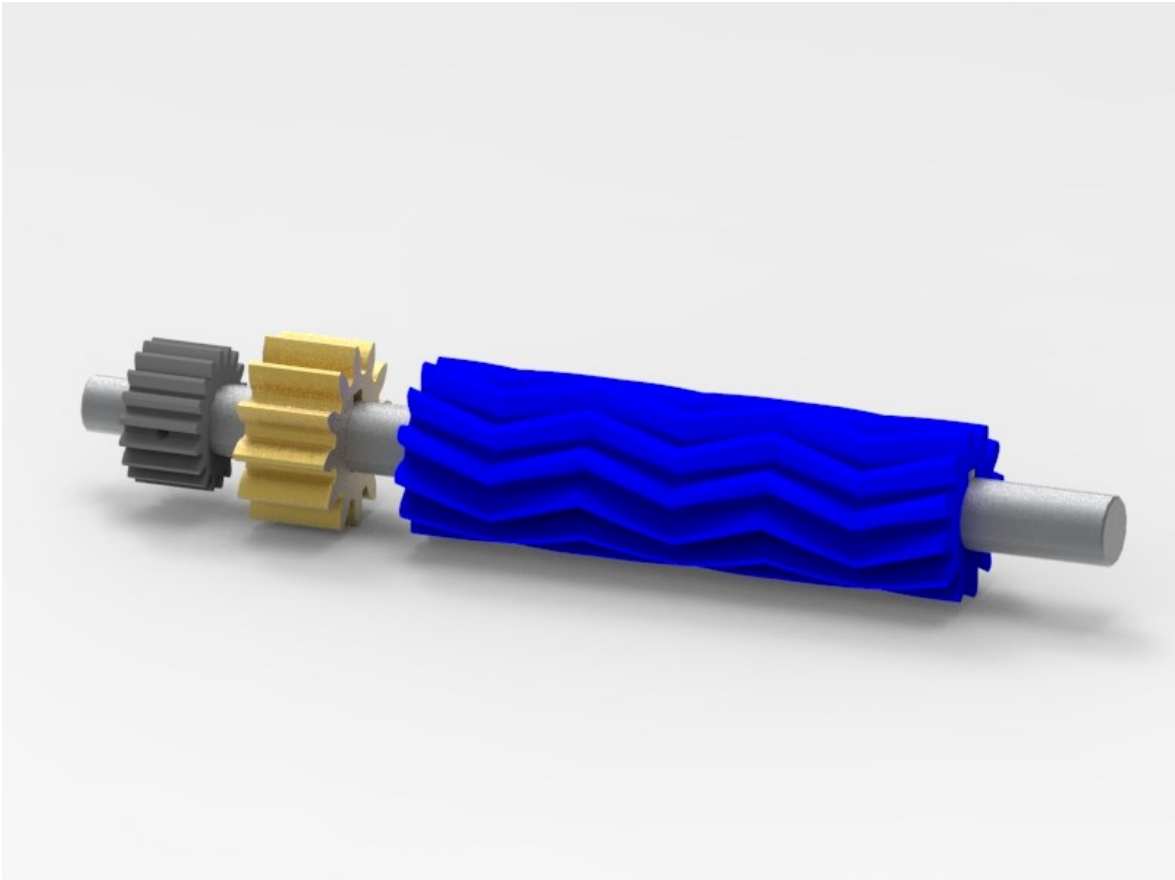


Fig. 4.14 - Rendering dell'assieme "asse mobile motore"

L'asse mobile motore è l'asse a cui viene trasferita la coppia motrice dall'albero fisso motore, esso è stato realizzato utilizzando un albero di diametro $\phi 15\text{mm}$ e disponendo 6 ingranaggi elicoidali contrapposti a coppie per realizzare la piega (visibili in Fig. 4.14 , di colore blu), un ingranaggio per realizzare in sincronismo del moto con l'albero fisso motore (visibili in Fig. 4.14 , di colore oro) e un ingranaggio per trasmettere la coppia in entrata alle altre due coppie di alberi (visibili in Fig. 4.14 , di colore nero). Sostanzialmente gli ingranaggi di cui esso si compone sono stati già descritti nel capitolo precedente, quindi non è necessario soffermarsi oltre.

4.2.4 L'asse fisso condotto

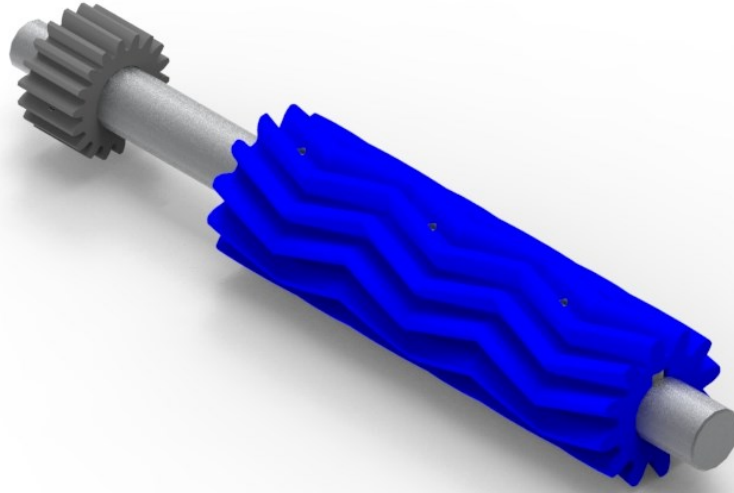


Fig. 4.15 - Rendering del componente “asse fisso condotto”

L'asse fisso condotto è l'asse a cui viene trasferita la coppia motrice dall'albero fisso motore, esso è stato realizzato utilizzando un albero di diametro $\phi 15\text{mm}$ e disponendo 6 ingranaggi elicoidali contrapposti a coppie per realizzare la piega (visibili in Fig. 4.15, di colore blu) e un ingranaggio per ricevere la coppia dall'albero fisso motore (visibili in Fig. 4.15, di colore nero). Sostanzialmente gli ingranaggi di cui esso si compone sono stati già descritti nel capitolo precedente, quindi non è necessario soffermarsi oltre.

4.2.5 L'asse mobile condotto

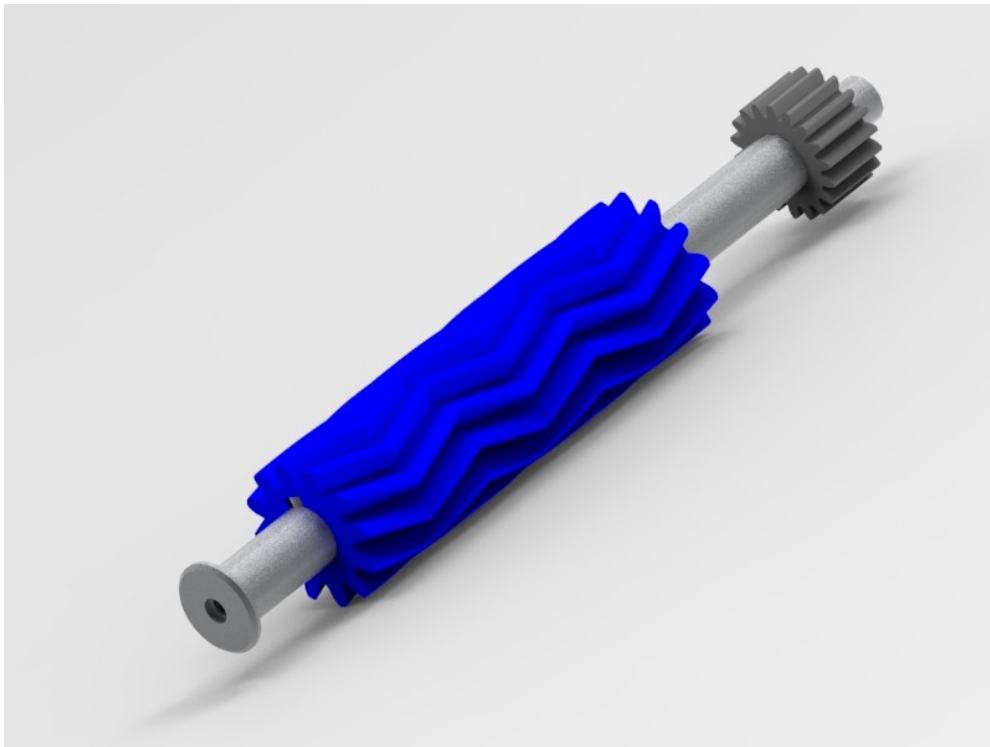


Fig. 4.16 - Rendering dell'assieme "asse mobile condotto"

L'asse mobile condotto è l'asse a cui viene trasferita la coppia motrice dall'albero mobile motore, esso è stato realizzato utilizzando un albero di diametro $\phi 15\text{mm}$ e disponendo 6 ingranaggi elicoidali contrapposti a coppie per realizzare la piega (visibili in Fig. 4.16, di colore blu) e un ingranaggio per ricevere la coppia dall'albero mobile motore (visibili in Fig. 4.16, di colore nero). Sostanzialmente gli ingranaggi di cui esso si compone sono stati già descritti nel capitolo precedente, quindi non è necessario soffermarsi oltre.

4.2.6 La movimentazione

Nei paragrafi precedenti sono stati descritti la struttura della macchina ed i suoi componenti, in questo paragrafo prenderemo in analisi la movimentazione. In questo prototipo il moto è conferito da una manovella azionata manualmente e calettata direttamente sull'albero fisso motore. Per i meccanismi descritti in precedenza la coppia motrice si distribuisce quindi su tutte e tre le coppie di assi.

4.2.7 L'aspirazione

L'aspirazione è necessaria per la rimozione della pellicola una volta che essa sia stata sollevata attraverso le pieghe ripetute. Nel prototipo 2 la depressione sarà praticata attraverso un bidone aspiratutto ad uso industriale, questo viene collegato alla flangia di aspirazione così da distribuire uniformemente la pressione nei tre step di rimozione del film.

4.2.8 Funzionamento della macchina

La chip di pre-preg entra dall'alto, attraverso l'imbocco e viene costretta ad attraversare la luce tra la prima coppia di assi controrotanti, in questo modo viene impartita la piega. In uscita da questo primo step il campione viene convogliato dal deflettore di ingresso della pellicola ad entrare all'interno della camera sottoposta a depressione. La pellicola precedentemente sollevata dalla piega viene quindi aspirata nell'intercapedine esistente tra deflettore di ingresso della pellicola e il deflettore centrale. Il materiale spellicciato o l'intera chip ancora in possesso del film protettivo (nel caso in cui il primo tentativo non sia andato a buon fine) viene invitata ad entrare nella seconda coppia di assi controrotanti dal deflettore centrale per tentare un secondo tentativo di rimozione della pellicola. Allo stesso modo di quanto visto prima, all'uscita dal deflettore centrale si ha ancora l'azione della depressione. Infine si ha un ultimo tentativo nell'ultima coppia di assi.

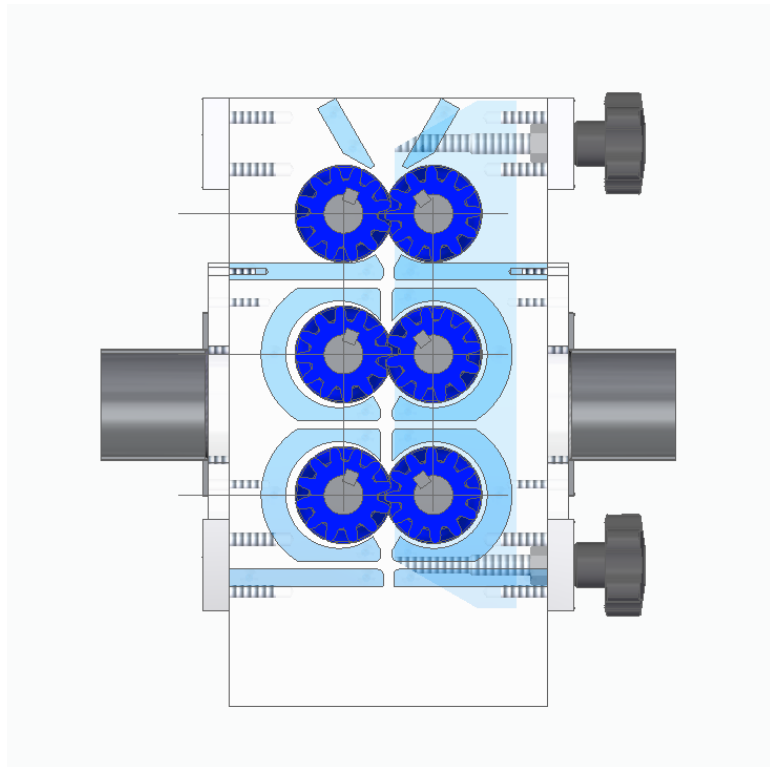


Fig. 4.17 – Sezione ingranaggi di piega

In questo modo dovrebbe essere possibile sollevare il film dal prepreg e aspirarlo, separando così il primo dal secondo. In uscita dalla macchina quindi otterremo solo il pre-preg senza film protettivo.

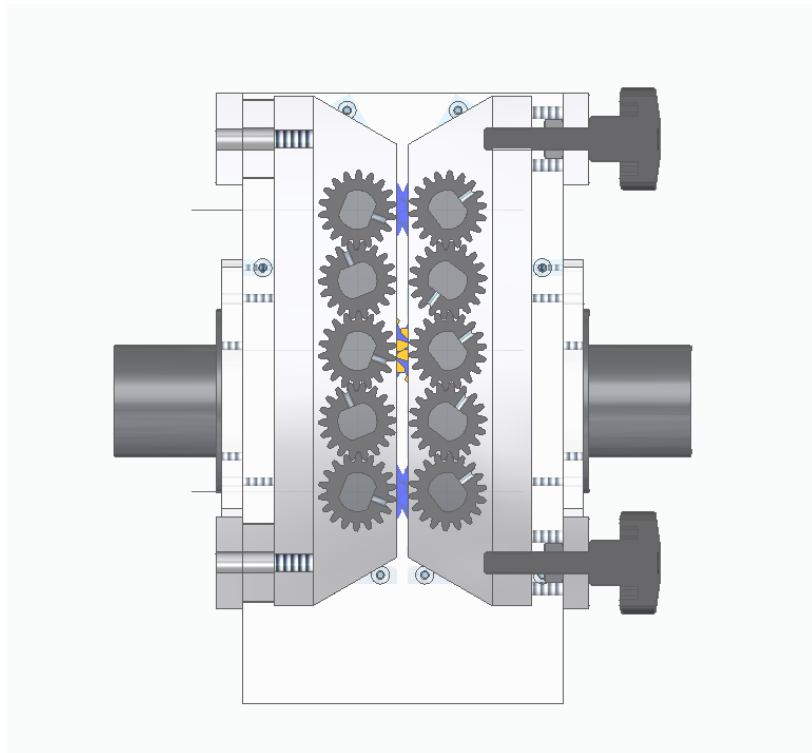


Fig. 4.18 – Sezione ingranaggi di distribuzione

Per quanto concerne invece la regolazione della macchina, come già accennato, essa è consentita dagli ingranaggi di sincronismo (ingranaggi a denti dritti Z12 M2,8 di cui sopra). Aumentando l'interasse tra di essi è possibile processare chips di pre-preg di spessore maggiore, al contrario diminuendolo lo spessore del materiale in entrata dovrà essere ridotto. Come si può notare le sedi realizzate sulla spalla del telaio in lexan trasparente, destinate ad ospitare gli assi mobili, sono delle asole. Questo consente, azionando le manopole di regolazione, di allontanare o avvicinare il blocco su cui sono presenti gli assi mobili, modificando così il valore dell'interasse.

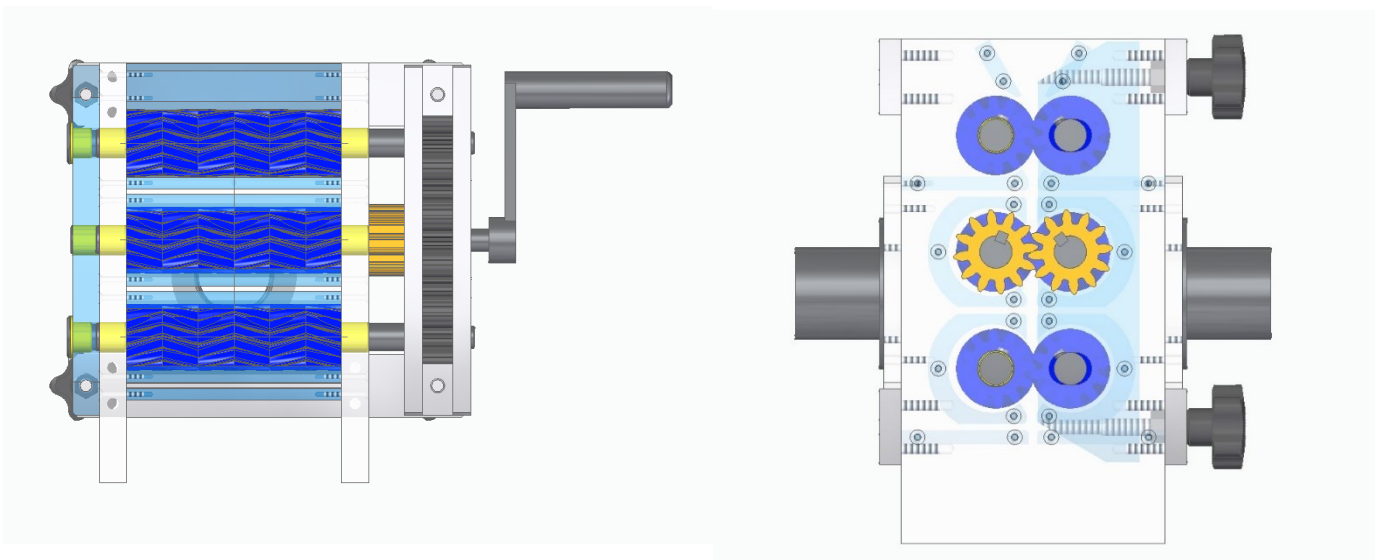


Fig. 4.19 – Sezione ingranaggi di sincronismo

Il prototipo, insieme a campioni vari di prepreg e a pinze per la manipolazione saranno posti all'interno di un congelatore e refrigerati a -18°C .

4.2.9 Analisi delle criticità

Il prototipo 2 evidenzia però una problematica non trascurabile legata al suo meccanismo di regolazione dello spessore delle chips da ricevere: la variazione dell'interasse degli ingranaggi di sincronismo comporta infatti una sfasatura degli stessi che non è accettabile.

Altri aspetti critici del prototipo sono la movimentazione che è affidata ad una manovella di

tipo manuale ed il telaio che ha la capacità di autosostenersi. Si rende quindi necessaria la modifica di tale problematica e lo sviluppo di un nuovo prototipo.

4.3 Il prototipo 3

Lo sviluppo del prototipo 3 è partito dalla sostituzione del meccanismo di movimentazione, la manovella è stata sostituita da un motore accoppiato con un riduttore. Al fine di trasferire la coppia motrice sui due alberi sono stati utilizzati due giunti in grado di compensare la variazione di interasse tra l'albero fisso motore e l'albero mobile motore. Quindi è stato ridisegnato un nuovo telaio che fosse in grado di sostenere il peso aggiunto con l'assieme motorizzazione e che garantisse una visibilità sia all'interno del prototipo sia in uscita dallo stesso per permettere alla telecamera di monitorare il corretto funzionamento del prototipo.



Fig. 4.20 - Rendering dell'assieme "asse mobile condotto"

Analizziamo ora nel dettaglio la macchina.

4.3.1 Il telaio

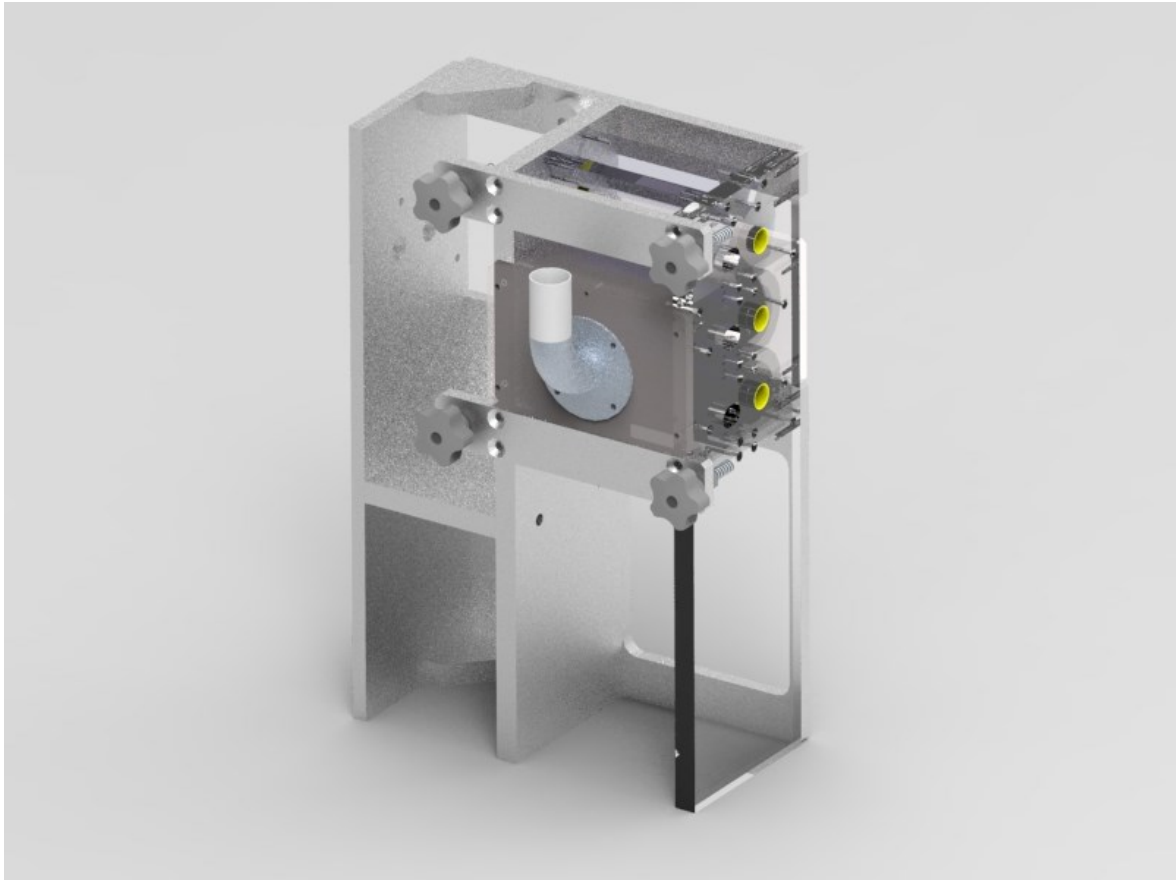


Fig. 4.21 - Rendering dell'assieme "telaio"

Il telaio è stato modificato allungando le spalle destra e sinistra e aggiungendo un'ulteriore piastra così da sostenere il motore e il riduttore che verranno installati a sbalzo. Per dare maggiore robustezza alla struttura le varie piastre sono state collegate da fazzoletti di rinforzo attraverso viti. Infine, è stata ampliata il sostegno laterale e realizzata un'apertura di forma rettangolare sullo stesso, ciò permetterà l'installazione di una telecamera con il compito di analizzare le chip di prepreg in uscita verificando che non sia più presente la pellicola protettiva. Per concludere è stato modificato anche l'imbocco dell'aspirazione, che se prima era costituito da un semplice tubo, ora si compone di una struttura saldata realizzata attraverso la giunzione di una curva a 90° e un tubo. Questa modifica è stata realizzata per permettere in prima istanza di realizzare una configurazione di set up che vede il prototipo 3 all'interno di un congelatore ad uso domestico che sia in grado di portare la temperatura

dell'intero macchinario a circa -18°C , così da permettere l'uscita del tubo di aspirazione dal coperchio dell'elettrodomestico. L'utilizzo del congelatore domestico è finalizzato a realizzare le già citate condizioni necessarie per il distacco della pellicola. L'intero set up verrà descritto in un capitolo dedicato successivamente. Per quanto riguarda gli altri componenti, essi non hanno subito modifiche, quindi sono a considerarsi come già descritti nel capitolo precedente. Lo stesso discorso vale per i materiali utilizzati per la realizzazione dei componenti.

4.3.2 L'asse fisso motore

L'asse fisso motore è stato modificato per risolvere la problematica legata alla fasatura degli ingranaggi di sincronismo durante la regolazione della macchina, a tal fine gli stessi sono stati eliminati (visibili in Fig Fig. 4.14 , di colore oro). Per quanto riguarda l'albero e gli altri ingranaggi che compongono l'assieme non sono state apportate modifiche, per cui sono da considerarsi come descritti nel capitolo precedente.

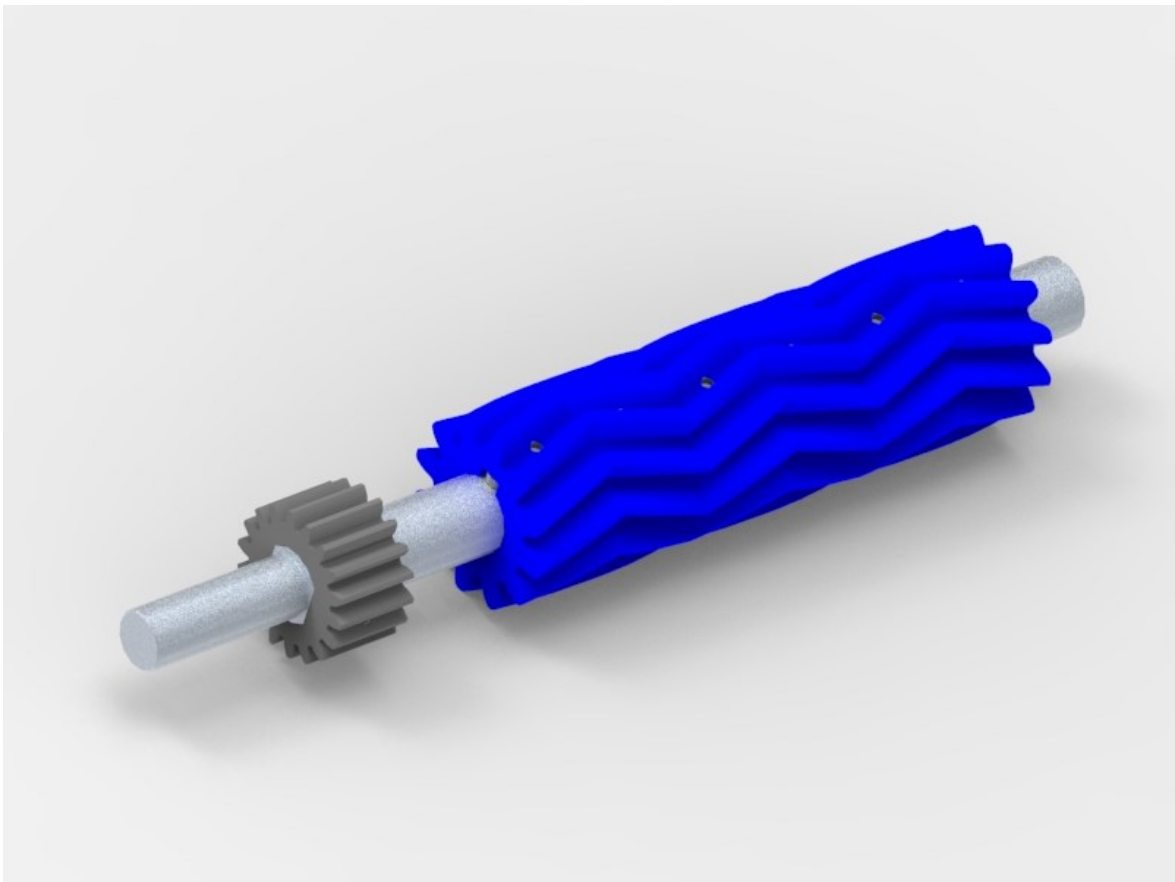


Fig. 4.22 - Rendering dell'assieme "asse fisso motore"

4.3.3 L'asse mobile motore

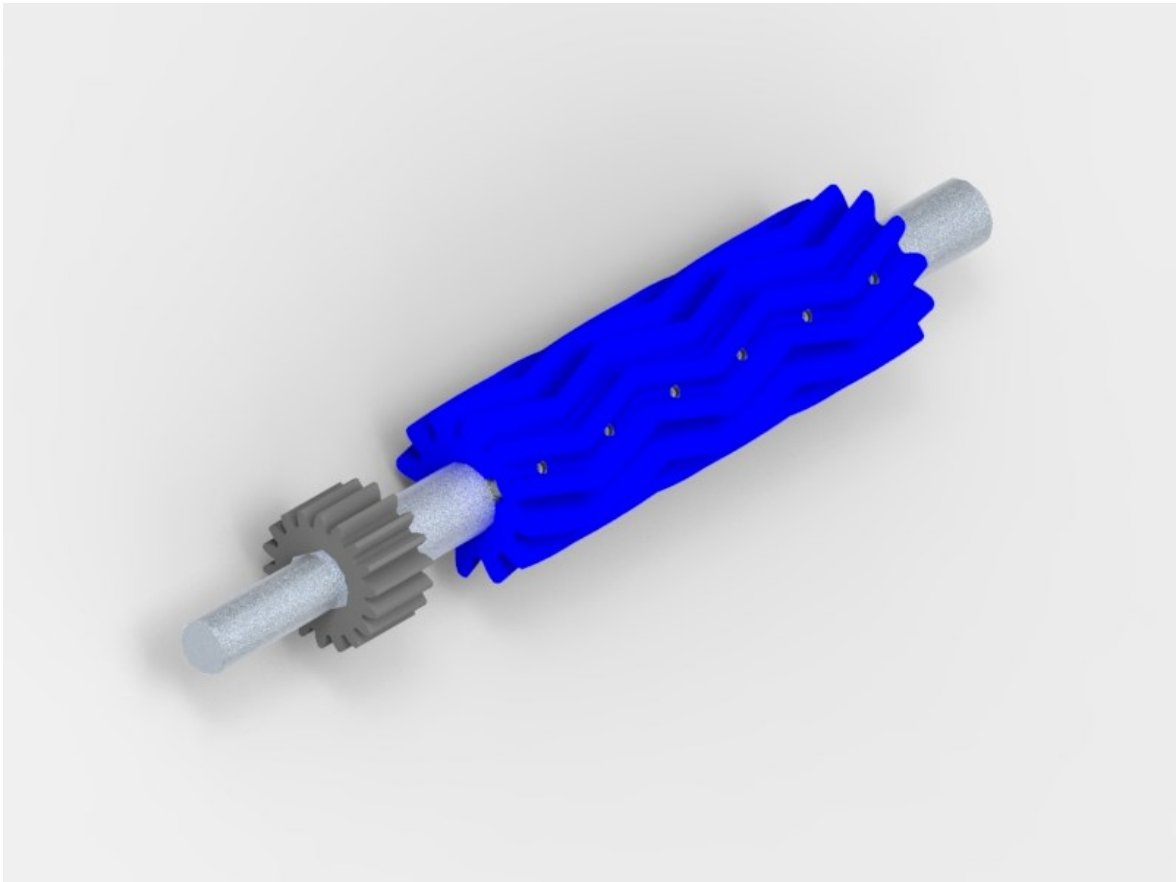


Fig. 4.23 - Rendering dell'assieme "asse mobile motore"

L'asse mobile motore è stato modificato per risolvere la problematica legata alla fasatura degli ingranaggi di sincronismo durante la regolazione della macchina, a tal fine gli stessi sono stati eliminati. Per quanto riguarda l'albero e gli altri ingranaggi che compongono l'assieme non sono state apportate modifiche, per cui sono da considerarsi come descritti nel capitolo precedente.

4.3.4 Gli assi condotti

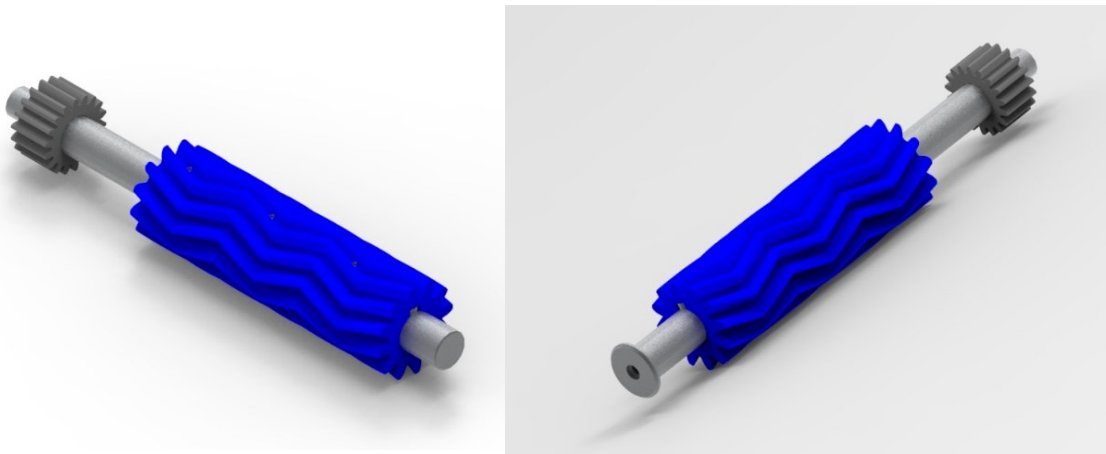


Fig. 4.24 - Rendering degli assieme “asse mobile condotto” e “asse fisso condotto”

Gli assi mobile condotto e fisso condotto non hanno subito modifiche per cui si rimanda ai capitoli 4.2.4 e 4.2.5.

4.3.5 La movimentazione

Nei paragrafi precedenti sono stati descritti la struttura della macchina ed i suoi componenti, in questo paragrafo prenderemo in analisi la movimentazione. La coppia è qui fornita da un gruppo motorizzazione che va a sostituire quindi la manovella manuale. In particolare, sono stati utilizzati un motore Bonfiglioli N 56A 4 230-400-50 IP55 CLF B5 accoppiato con un riduttore VF 30 P1 70 P56 B5 B3 dell'omonima ditta.

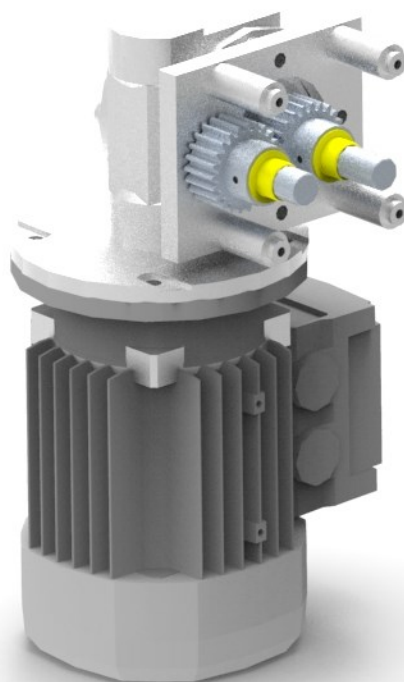


Fig. 4.25 - Rendering dell'assieme "motorizzazione"

Motore e riduttore sono uniti tra loro attraverso un collegamento di tipo bullonato, mentre l'intero gruppo è sorretto da una piastra collegata attraverso 4 perni di centraggio al telaio della macchina, questo per evitare che il peso del gruppo motorizzazione, montato a sbalzo, generi un momento flettente sull'albero dell'asse fisso motore. La scelta di posizionare il motore sollevato è stata effettuata anche per evitare che la ventola di raffreddamento del motore poggi a terra.

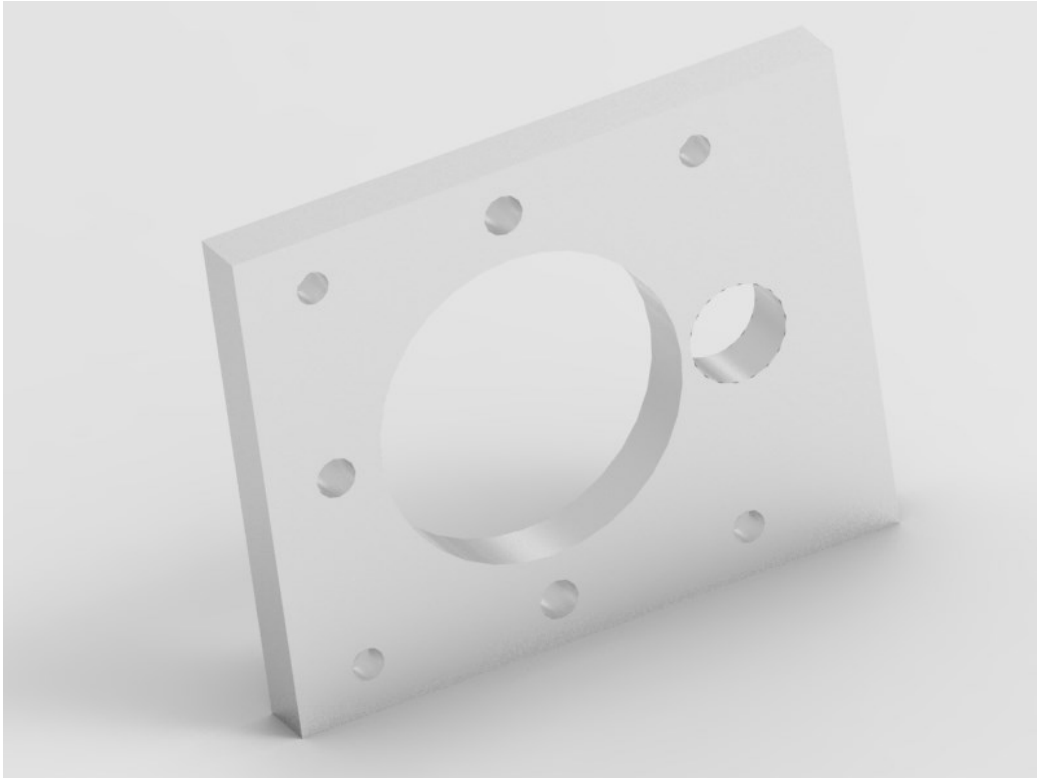


Fig. 4.26 - Rendering del componente “piastra riduttore”

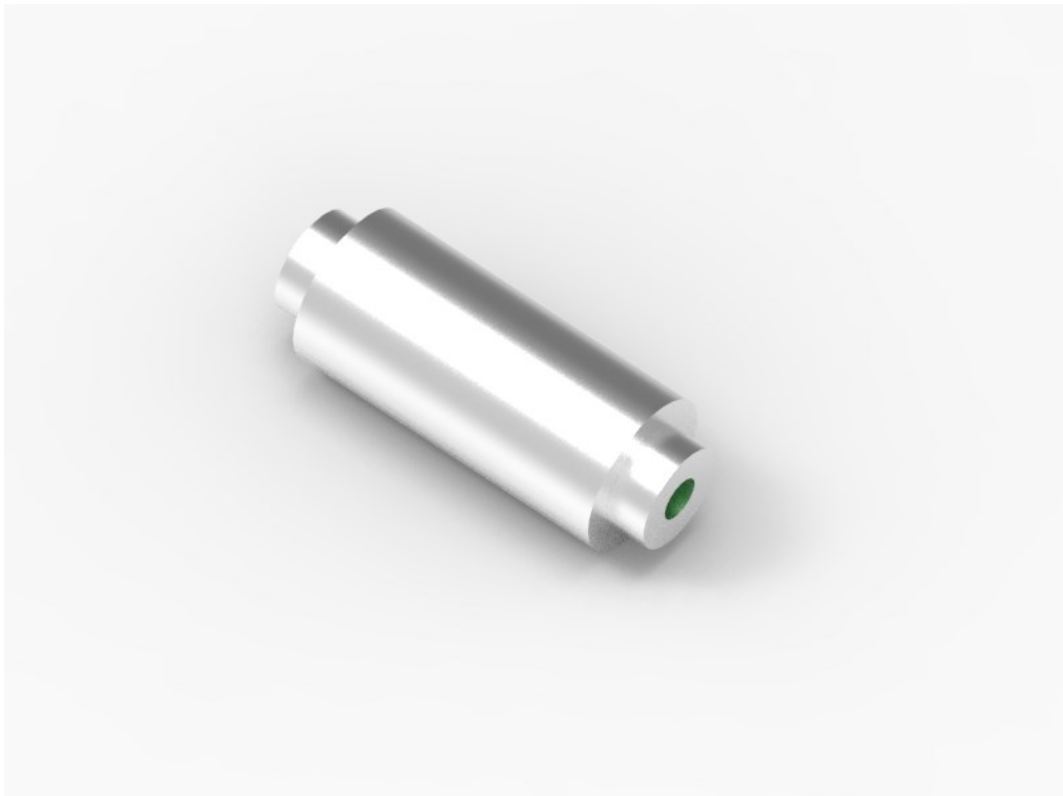


Fig. 4.27 - Rendering del componente “perno di centraggio”

Sulla piastra al quale è fissato il riduttore è stato realizzato un foro così da consentire il passaggio dell'albero del riduttore, cioè l'albero dal quale viene erogata la coppia motrice. Sull'albero del riduttore è stato quindi calettato un ingranaggio a denti dritti (Fig. 4.28) che sostituisce l'ingranaggio di sincronismo del prototipo 2.



Fig. 4.28 - Rendering del componente “ingranaggio di sincronismo a denti dritti prototipo 2”

La coppia in uscita dall'albero riduttore viene poi trasferita ad un altro albero, folle, attraverso un secondo di questi ingranaggi. Questi alberi, che verranno quindi collegati rispettivamente all'albero fisso motore e all'albero mobile motore, non saranno soggetti a variazione di interasse, si risolve quindi la problematica legata alla fasatura degli ingranaggi di sincronismo evidenziata nel prototipo 2. Resta però ancora da risolvere il problema dovuto all'allontanamento dell'asse mobile della macchina da quello fisso, a tal fine si utilizzano due giunti:

- un giunto spaccato per l'asse fisso motore che non dovrà subire spostamenti (Fig. 4.29).
- un giunto omocinetico di tipo Oldham per l'asse mobile motore in grado di recuperare le traslazioni dell'asse nella fase di regolazione dell'interasse (Fig. 4.30).

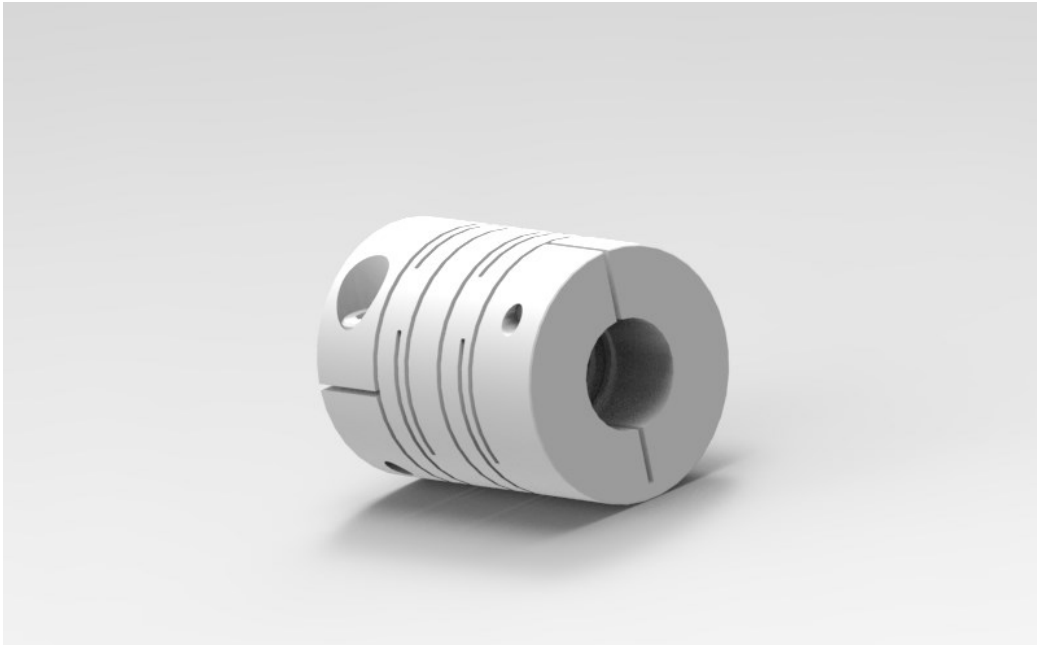


Fig. 4.29 - Rendering del componente “giunto spaccato”

4.3.5.1 Giunto Oldham

Il giunto Oldham fa parte del gruppo dei giunti articolati ed è considerato un modello speciale di tale gruppo. La struttura del giunto è composta da 3 dischi. I due dischi esterni sono fissati al rispettivo albero, mentre il disco centrale è alloggiato in due collegamenti a incastro disposti ortogonalmente tra loro.



Fig. 4.30 - Rendering del componente “giunto Oldham”

Il giunto Oldham trasmette il momento di rotazione isogonalmente, ma consente lo spostamento parallelo degli assi e piccoli spostamenti angolari e assiali. Nel trasferimento del momento di rotazione, non hanno luogo variazioni di velocità. Il giunto Oldham è configurabile in termini di versione e può essere adattato su misura agli ambiti di impiego individuali. È possibile stabilire uno spostamento angolare, uno spostamento radiale o un gioco assiale. Lo spostamento angolare descrive un errore di parallelismo tra i due assi degli alberi, lo spostamento radiale un errore di posizione angolare tra i due suddetti assi. Nello

spostamento assiale, alberi diversi si spostano in direzione assiale. Questo errore di posizione si verifica quando il motore accelera oppure in caso di rigonfiamento dovuto all'aumentare della temperatura. L'intervallo di momento di rotazione consentito può essere scelto a piacere, come il diametro del foro dell'albero, il diametro esterno, la lunghezza totale e l'intervallo di numeri di giri massimo. Può anche essere selezionata una versione con elevato momento di rotazione oppure una versione con basso momento d'inerzia. Per quanto riguarda la forma del foro dell'albero, si può scegliere tra il foro con scanalatura su lati diversi oppure il foro standard. Il diametro interno dell'albero è dimensionabile in incrementi di 0,1 mm. Il materiale di base del giunto Oldham consiste in una lega sinterizzata EN 1.4301 equiv., il materiale del tampone è plastica rinforzata con fibra di carbonio. La temperatura di esercizio del giunto varia da -40 gradi a circa -90 gradi centigradi. I valori consentiti di spostamento angolare, spostamento radiale e gioco assiale sono indipendenti tra loro. Se si verificano simultaneamente più errori di posizionamento, il valore massimo consentito per ciascun errore si riduce della metà.

4.3.6 L'aspirazione

L'aspirazione è necessaria per la rimozione della pellicola una volta che essa sia stata sollevata attraverso le pieghe ripetute. Nel prototipo 3 la depressione sarà praticata attraverso un bidone aspiratutto ad uso industriale, questo viene collegato alla flangia di aspirazione così da distribuire uniformemente la pressione nei tre step di rimozione del film. La flangia di aspirazione è stata modificata andando a saldare una curva a 90° su di una piastra, in questo modo la direzione di uscita del flusso d'aria è verso l'alto.



Fig. 4.31 - Rendering dell'assieme "aspirazione"

La depressione verrà realizzata su entrambi i lati della macchina quindi i due tubi verranno uniti attraverso un raccordo a T.

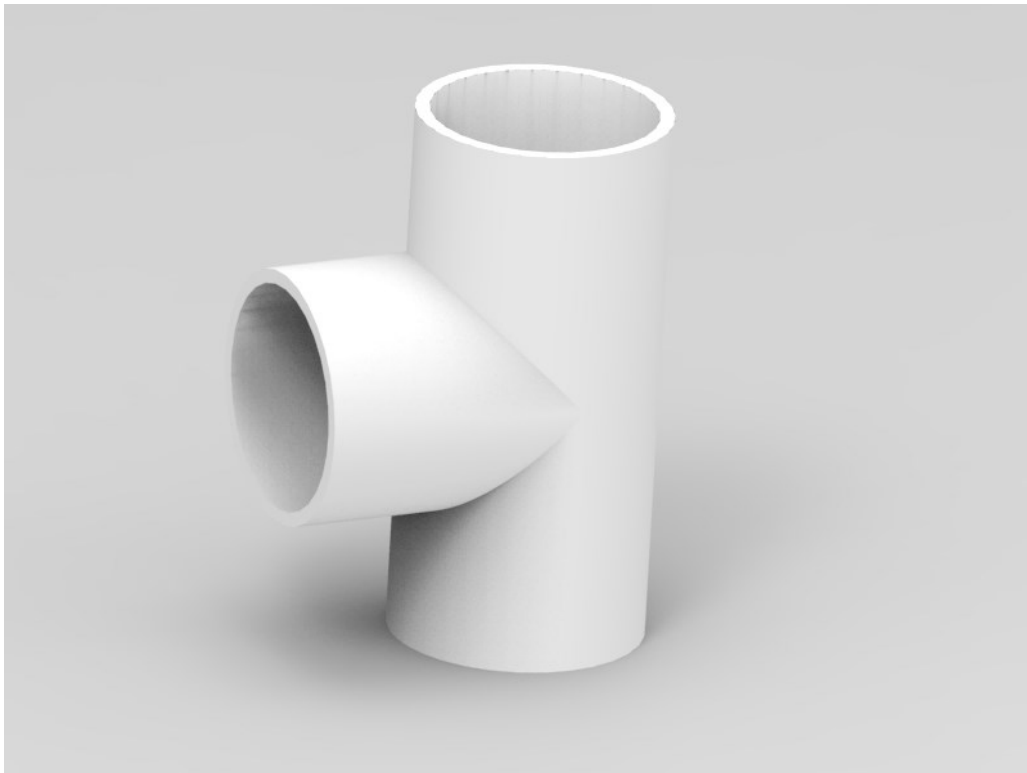


Fig. 4.32 - Rendering del componente “raccordo a T”

Il tubo in uscita verrà quindi fatto passare attraverso il coperchio del congelatore (nella configurazione di set up) e infine collegato al bidone aspiratutto.

4.3.7 Funzionamento della macchina

Il funzionamento della macchina è analogo a quello già visto in dettaglio per il prototipo 2, si susseguono 3 tentativi di rimozione della pellicola di PE attraverso una depressione esercitata attraverso un bidone aspiratutto collegato alla flangia di aspirazione. Il flusso d'aria segue le linee visibili nella Fig. 4.33. Per la descrizione del funzionamento della macchina nel dettaglio si rimanda al Cap. 4.2.8.

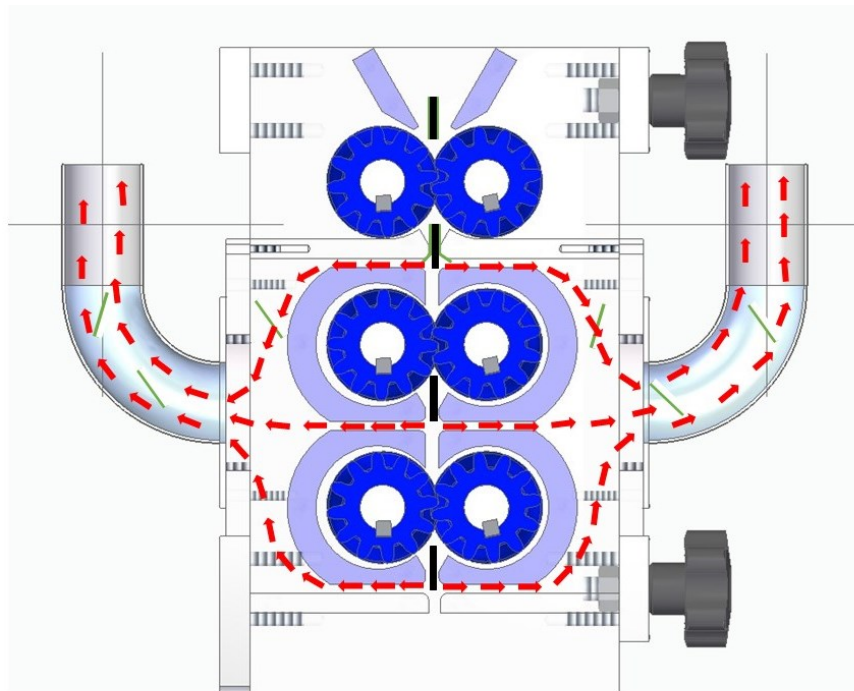


Fig. 4.33 – Linee flusso aspirazione

Nel dettaglio riportato in Fig. 4.35 viene descritto graficamente il processo di rimozione della pellicola protettiva. La bassa temperatura unita alle pieghe contrapposte effettuate sulla chip di materiale composito consentono il distacco della pellicola di PE (rappresentata in colore verde) dalla matrice (rappresentata in colore nero) che viene quindi aspirata dal flusso d'aria.

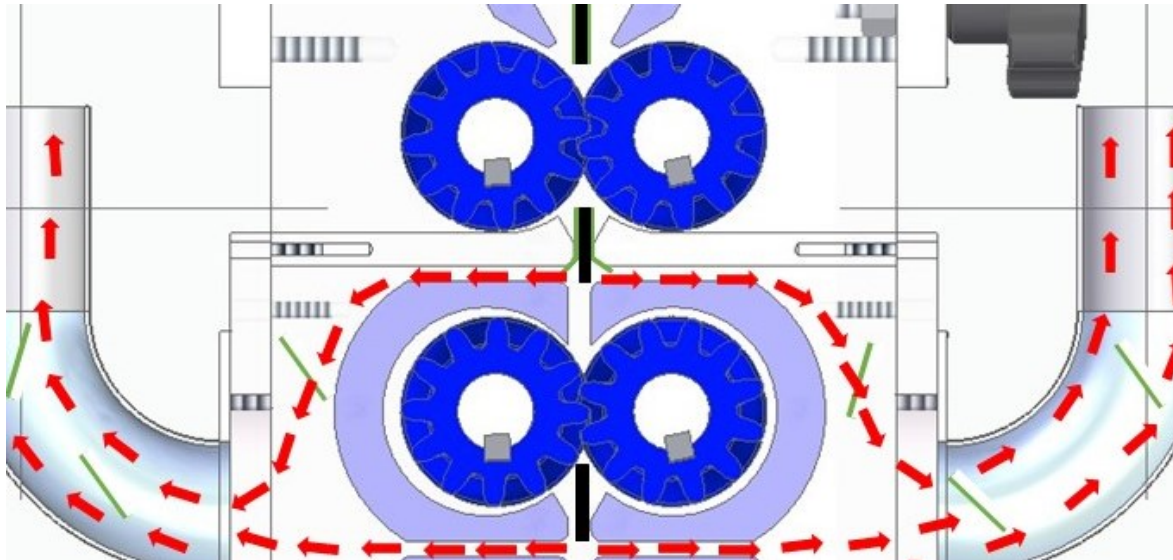


Fig. 4.34 – Linee flusso aspirazione

4.3.8 Set up

Il prototipo, insieme a campioni vari di prepreg e a pinze per la manipolazione saranno posti all'interno di un congelatore e refrigerati a -18°C .

Per quanto riguarda il congelatore si è scelto un modello che fosse di ampie dimensioni interne (1550x500x600mm) per contenere il prototipo 3 e per garantire una manovrabilità all'interno dell'operatore che dovrà inserire manualmente gli sfridi di prepreg e riprenderli al di sotto.

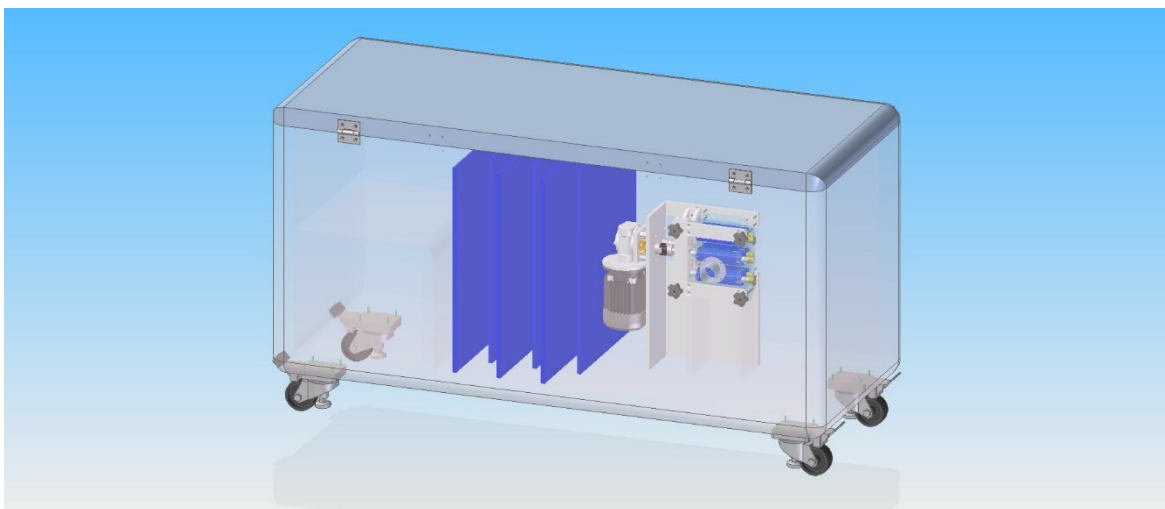


Fig. 4.35 - Rendering del set up

L'aria in ingresso attraversa una serpentina (Fig.4.35) per massimizzare lo scambio termico e fare in modo che all'interno del congelatore si mantenga una temperatura di circa -18°C , questa operazione si rende necessaria dal momento che gli sfridi hanno una bassissima inerzia termica dovuta al materiale e alle loro ridotte dimensioni. Il superamento della temperatura citata provoca un ammorbidimento del film protettivo che gli consente di assecondare la piega imposta all'interno dello spellicolatore, non permettendo la sua rimozione. L'aria in uscita dalla macchina viene ricondotta fuori dal congelatore, assieme alle pellicole rimosse, grazie alla depressione esercitata dal bidone aspiratutto posto esternamente.

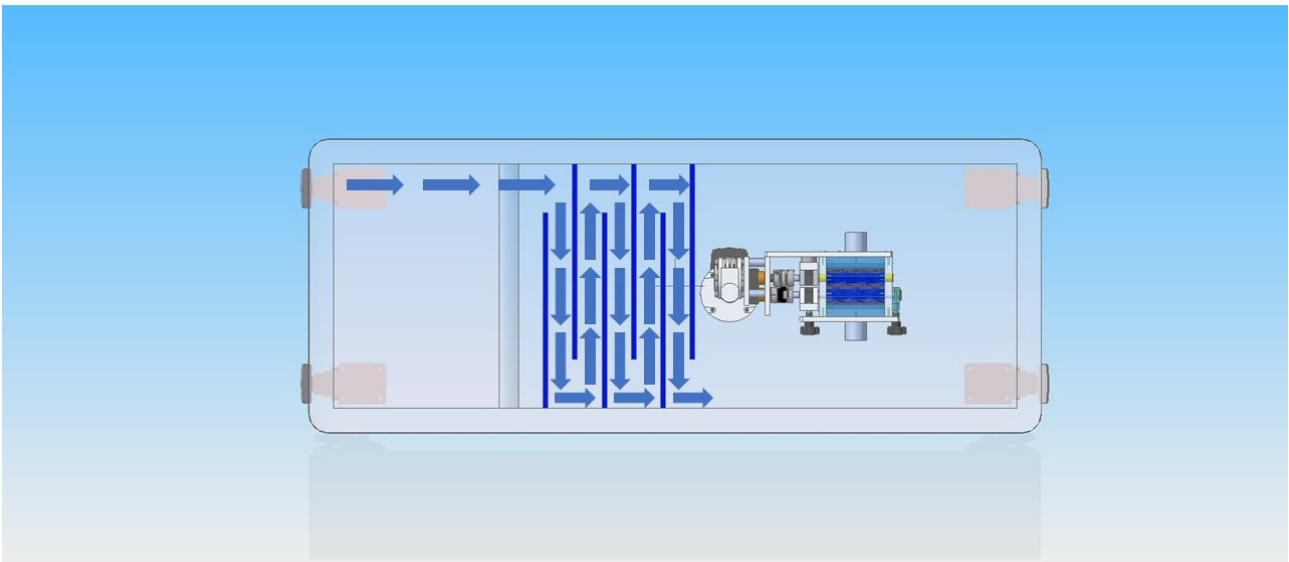


Fig. 4.36 - Rendering del set up, flusso di aria

4.3 Analisi della produttività della macchina

La macchina una volta realizzata dovrà avere una produttività oraria di circa 25 kg/h. Le chips come già accennato dovranno avere una forma rettangolare con dimensioni che andranno dai 10 mm ai 50 mm. La massa di una chips con questa geometria è di circa 3 g. Considerando questi parametri possiamo affermare che la macchina dovrà elaborare:

$$N_c = \frac{Q}{m}$$

Dove:

Q è la produttività oraria in massa della macchina [kg/h]

m è la massa della singola chips [kg]

N_c il numero di pezzi che la macchina dovrà elaborare in un'ora [pezzi/h]

Eseguendo l'operazione si ottiene che la macchina dovrà essere in grado di elaborare circa 8300 pezzi l'ora. Durante il funzionamento si considera che entri un pezzo alla volta, alla rotazione della coppia di ingranaggi corrisponderà un avanzamento della chip. Si prenda quindi in considerazione la lunghezza della circonferenza dell'ingranaggio elicoidale e la lunghezza della chips. In realtà i singoli rettangolini di prepeg saranno obbligati a seguire il profilo del dente e non la circonferenza dello stesso, la lunghezza dello sviluppo del profilo della ruota dentata è maggiore della sua circonferenza esterna, la condizione utilizzata è quindi conservativa. Si analizzi inoltre il caso in cui la produttività sia minima ossia quando i pezzi entrano nel senso della loro dimensione maggiore (lunghezza pari a 50 mm). La lunghezza della circonferenza dell'ingranaggio elicoidale sarà:

$$C = 2 * \pi * r$$

Quindi per conoscere il numero di pezzi che la macchina sarà in grado di elaborare ad ogni giro completo della coppia di ingranaggi si esegua il seguente rapporto:

$$N = \frac{C}{L}$$

Eseguendo il calcolo si ottiene che per un diametro dell'ingranaggio elicoidale pari a $d=36.93$ mm, la macchina è in grado di elaborare circa 2 pezzi ad un giro completo. Ricordano che per quanto calcolato precedentemente la macchina dovrà elaborare circa 8300 pezzi/h e considerando che ad ogni giro completo dell'ingranaggio vengono processati 2 pezzi, allora è possibile ricavare la velocità angolare a cui dovrà girare l'ingranaggio elicoidale:

$$n = \frac{Nc}{Ng}$$

Dove Ng è appunto il numero di chips processate ad ogni giro

Quindi la velocità in rad/s sarà:

$$\omega_{ingranaggi} = \frac{2 * \pi * n}{3600}$$

Affinché possa essere garantita la produttività oraria richiesta sarà necessaria una velocità di rotazione dell'asse non inferiore 7.3 rad/s.

4.4 Dimensionamento del motore della macchina spellicolatrice

Per quanto concerne il dimensionamento del motore e del riduttore necessari alla movimentazione del sistema è stata utilizzata un'analisi FEM, eseguita attraverso il software Ansys, per stimare la coppia resistente della macchina. Quindi trascurando il transitorio della fase di avvio del motore andiamo a studiare il comportamento dello stesso a regime. Il sistema in un primo approccio può essere semplificato considerando la seguente immagine:

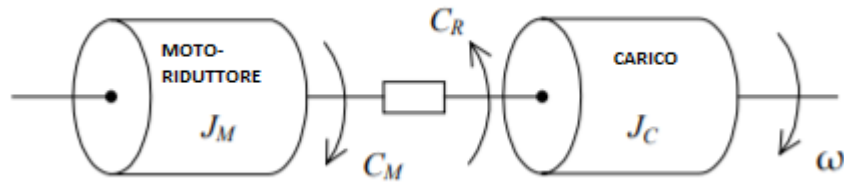


Fig. 4.35 – Semplificazione dinamica del sistema

Considerando che l'albero in uscita dal riduttore sia collegato attraverso un giunto rigido all'albero dove è installato il carico le loro velocità possono essere considerate uguali.

L'equazione di equilibrio dinamico del sistema (legge di Eulero):

$$C_m - C_r = J \frac{d\omega}{dt}$$

Dove:

C_m è la coppia motrice, coppia elettromagnetica sviluppata dal motore elettrico [Nm];

C_r è la coppia resistente, rappresenta l'opposizione offerta dal carico [Nm];

J è il momento di inerzia delle masse rotanti rispetto all'asse di rotazione [kgm²];

A regime la velocità del sistema è costante, per cui il termine al secondo membro è nullo, quindi il motore dovrà essere in grado di erogare una coppia motrice C_m pari a quella resistente C_r . Al fine di determinare la coppia resistente si è cercato di determinare il momento flettente necessario a piegare la chip di prepreg tra due ruote dentate al suo ingresso nella macchina (Fig. 4.38). Nel suo stato vergine il materiale possiede la matrice polimerica non ancora reticolata, per cui lo sforzo non può essere trasmesso alle fibre di carbonio, ne deriva che il comportamento del materiale potrà essere approssimato a quello di un elastomero dotato di particolare rigidità (dovuta alla bassa temperatura dell'intero sistema). Le caratteristiche del materiale non note in quanto esso si trova ancora allo stato vergine (non tabulate), sono quindi state ricavate attraverso l'utilizzo di due modelli a comportamento iperelastico: il modello Mooney Rivlin a due parametri ed il modello di Neo

Hookean. Considerata la grande varietà di materiali prepreg che la macchina si troverà a processare, si è cercato analizzare più casi di possibili materiali con caratteristiche differenti tra loro. I parametri utilizzati sono:

Materiali studiati con modello di Mooney Rivlin			
	Parametri utilizzati		
Materiali	C10 [MPa]	C01 [MPa]	D1 [MPa⁻¹]
materiale 1	14	-0.00034	0.001583
materiale 2	10	-0.00034	0.001583
materiale 3	8	-0.00034	0.001583

Fig. 4.36 – Parametri utilizzati nel modello Mooney Rivlin per la modellazione dei materiali

Materiali studiati con modello di Neo Hookean		
	Parametri utilizzati	
Materiali	Inertial shear modulus Mu [MPa]	D1 [MPa⁻¹]
materiale 4	10	0.001583
materiale 5	7.5	0.001583
materiale 6	5	0.001583

Fig. 4.37 – Parametri utilizzati nel modello Neo Hookean per la modellazione dei materiali

L'analisi è stata quindi condotta attraverso uno studio agli elementi finiti dove si è simulato il processo di ingranamento di una coppia di ruote dentate sulla chip di prepreg.

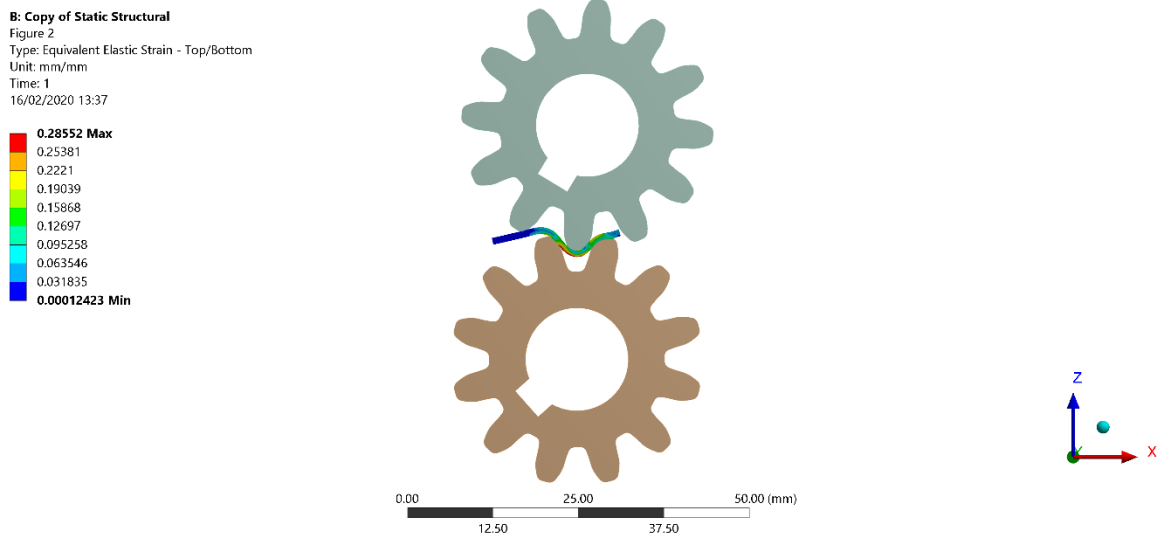


Fig. 4.38 – Situazione analizzata per stimare la coppia resistente

Per quanto riguarda la simulazione è stato fatto in modo che i centri delle due ruote rimanessero fissi, conferendo però alle due ruote un'identica velocità di rotazione, al fine di simulare al meglio le condizioni di piega reali. Quindi è stato studiato il fenomeno per tutto il tempo in cui la prima coppia di denti a contatto con la chip rimane in presa. Nel momento in cui la seconda coppia di denti entra in presa, lo sforzo decresce sulla prima e cresce sulla seconda con lo stesso andamento, per questo motivo lo studio è stato limitato alla prima coppia di denti in presa. Essendo la macchina spellicolatrice dotata di un sistema di regolazione dello spessore del materiale in entrata, sono stati analizzati due differenti casi:

- Interasse massimo: l'interasse tra le coppie di ruote dentate è pari a 35.8 mm, considerando che lo spessore del materiale in analisi non varia questa è la condizione di minima sollecitazione
- Interasse minimo: l'interasse tra le coppie di ruote dentate è pari a 34.3 mm, considerando che lo spessore del materiale in analisi non varia questa è la condizione di massima sollecitazione

Nelle figure che seguono è possibile osservare il comportamento della coppia resistente dovuta alla flessione dell'elementino di materiale composito nelle due differenti situazioni.

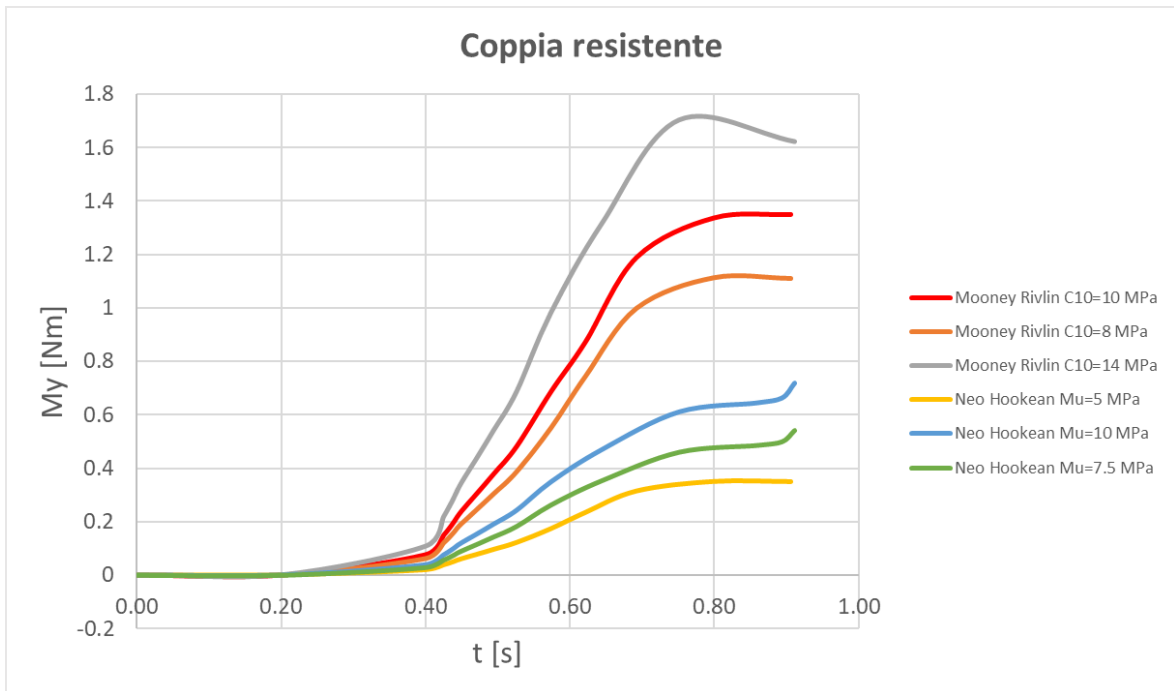


Fig. 4.39 – Andamento del momento flettente necessario a flettere la chip secondo il profilo del dente - interasse 35.8 mm

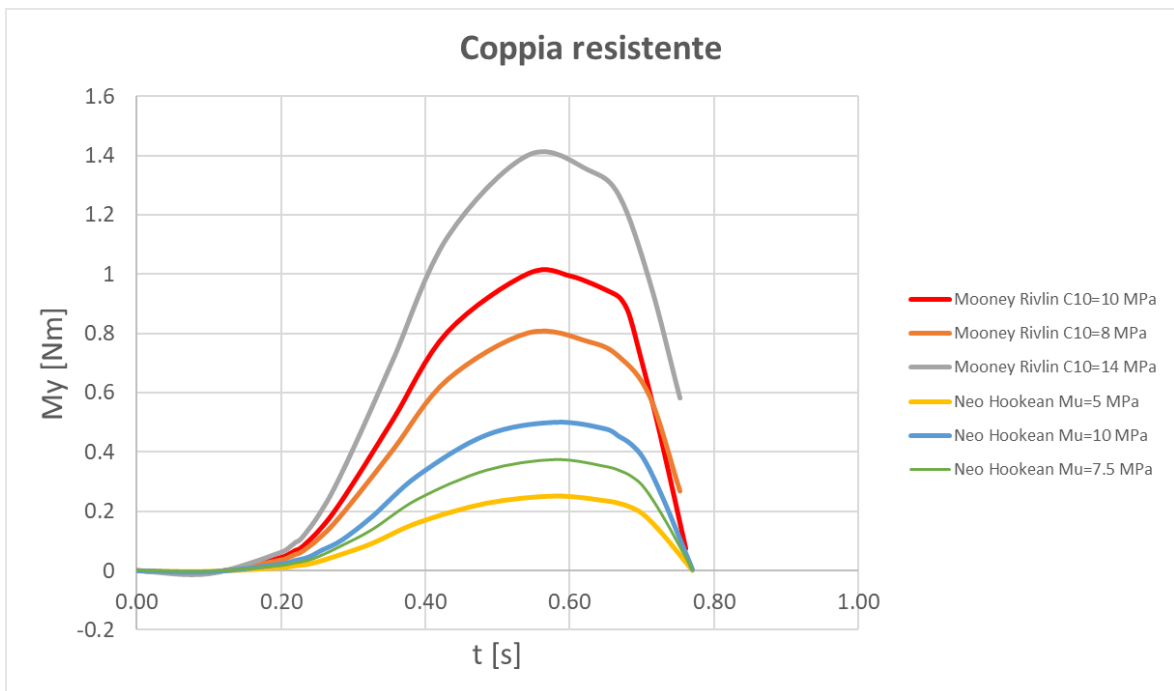


Fig. 4.40 – Andamento del momento flettente necessario a flettere la chip secondo il profilo del dente - interasse 34.3 mm

Nel tempo necessario ad effettuare la piega la coppia assume come valore massimo $C_r=1.7$ Nm nel caso di interasse maggiore (Fig. 4.39) e $C_r=1.4$ Nm nel caso di interasse minimo (Fig. 4.40). Al fine del dimensionamento di motore e riduttore verrà considerato il maggiore tra i due valori di coppia resistente, a questo andrà aggiunto quello dovuto agli attriti tra gli alberi di ogni singolo asse rotante ed i rispettivi cuscinetti. Quindi sempre grazie all'analisi FEM è stata estrapolata la reazione vincolare che andrà a scaricarsi sui cuscinetti, come nel caso precedente verranno riportate le forze che si generano nei due casi considerati.

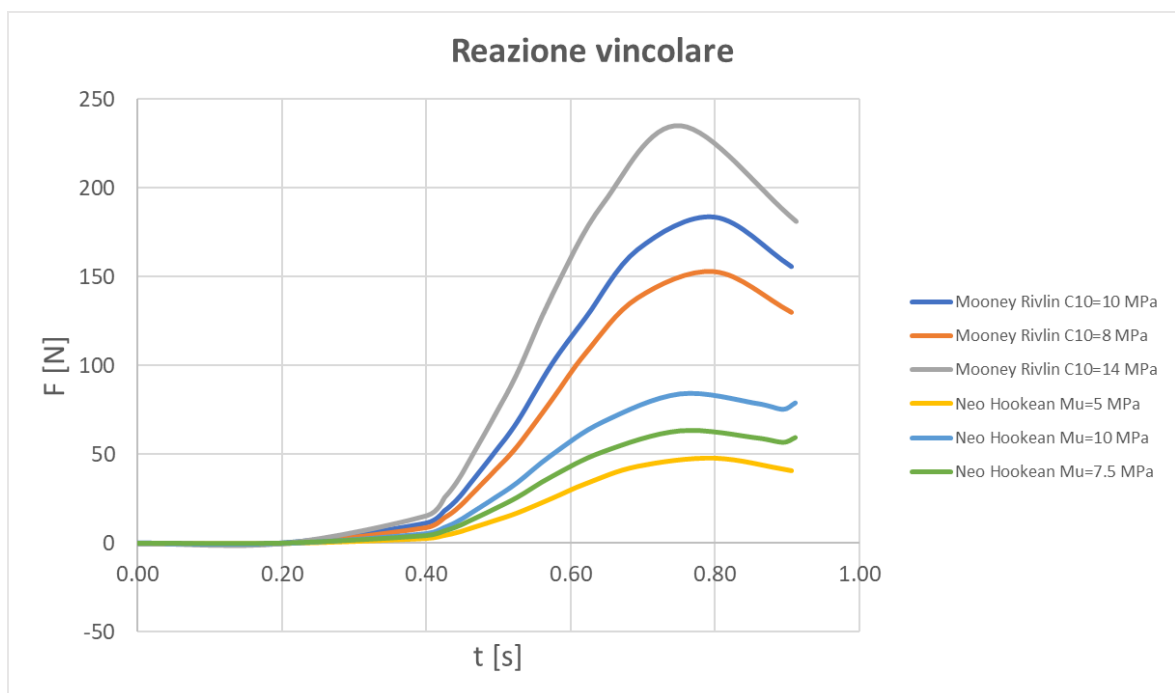


Fig. 4.41 – Andamento della forza necessaria a flettere la chip secondo il profilo del dente - interasse 35.8 mm

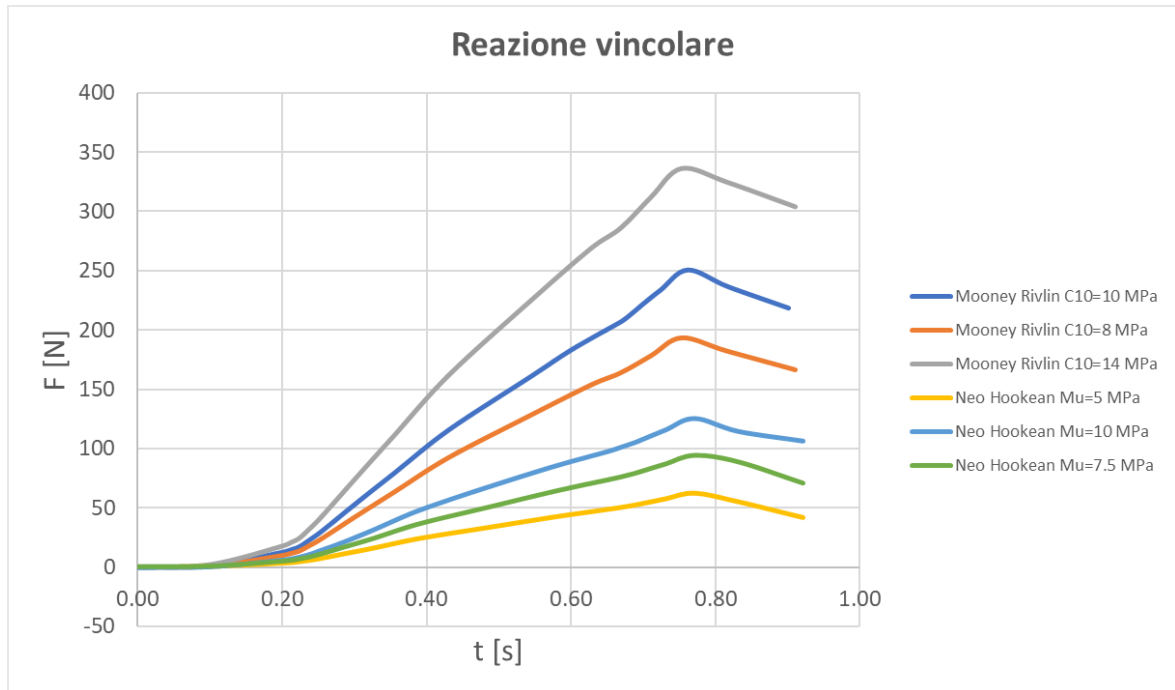


Fig. 4.42 – Andamento della forza necessaria a flettere la chip secondo il profilo del dente -
interasse 34.3 mm

Nel caso in cui l'interasse sia maggiore la forza assume un valore massimo pari a $F_r=235.3$ N nel caso di interasse massimo (Fig. 4.41) e un valore massimo di $F_r=336.4$ N nel caso di interasse minimo (Fig. 4.42). Nella seguente analisi si considera il massimo valore di forza tra i precedenti, quindi $F/2$ in quanto ogni albero è retto da due cuscinetti.

$$C_{attriti} = \mu * \frac{F}{2} * \frac{d}{2}$$

Dove:

μ è il coefficiente di attrito tra albero (acciaio) e cuscinetto (plastica)

F è la reazione vincolare che si scarica sui cuscinetti dovuta al passaggio della chip [N]

D è il diametro dell'albero di ogni asse [mm]

Dalla Fig. 4.43 si ricava (evidenziato in rosso) il coefficiente di attrito dinamico μ della serie

J.

Scheda tecnica del materiale		iglidur® G	iglidur® J	iglidur® M250	iglidur® W300	iglidur® X
Caratteristiche generali	Unità di misura					
Densità	g/cm ³	1,46	1,49	1,14	1,24	1,44
Colore		grigio	giallo	antracite	giallo	nero
Max. assorbimento di umidità a +23 °C/50 % u. r.	peso %	0,7	0,3	1,4	1,3	0,1
Max. assorbimento d'acqua per saturazione	peso %	4,0	1,3	7,6	6,5	0,5
Coefficiente d'attrito dinamico su acciaio	μ	0,08–0,15	0,06–0,18	0,18–0,40	0,08–0,23	0,09–0,27
Max. pv ammissibile (a secco)	MPa · m/s	0,42	0,34	0,12	0,23	1,32
Caratteristiche meccaniche						
Modulo elastico	MPa	7.800	2.400	2.700	3.500	8.100
Resistenza alla flessione a +20 °C	MPa	210	73	112	125	170
Resistenza alla compressione	MPa	78	60	52	61	100
Max. carico specifico ammissibile, statico a +20 °C	MPa	80	35	20	60	150
Durezza Shore D		81	74	79	77	85
Caratteristiche fisiche e termiche						
Max. temperatura operativa permanente	°C	+130	+90	+80	+90	+250
Temperatura limite per breve durata	°C	+220	+120	+170	+180	+315
Temperatura operativa minima	°C	-40	-50	-40	-40	-100
Conducibilità termica	W/m · K	0,24	0,25	0,24	0,24	0,6
Coefficiente di dilatazione termica (T _{ref} = +23 °C)	K ⁻¹ · 10 ⁻⁶	9	10	10	9	5
Caratteristiche elettriche						
Resistività di volume	Ωcm	> 10 ¹³	> 10 ¹³	> 10 ¹³	> 10 ¹³	< 10 ⁹
Resistività di superficie	Ω	> 10 ¹¹	> 10 ¹²	> 10 ¹¹	> 10 ¹²	< 10 ⁹
Resistenza del materiale (a +20 °C)						
Resistenza chimica		iglidur® G	iglidur® J	iglidur® M250	iglidur® W300	iglidur® X
Alcool		da + a 0	+	da + a 0	da + a 0	+
Idrocarburi		+	+	+	+	+
Grassi e oli, senza additivi		+	+	+	+	+
Carburanti		+	+	+	+	+
Acidi deboli		da 0 a -	da 0 a -	da 0 a -	da 0 a -	+
Acidi forti		-	-	-	-	+
Basi deboli		+	+	+	+	+
Basi forti		0	da + a 0	0	0	+
Resistenza alle radiazioni [Gy] fino a		3 · 10 ²	3 · 10 ²	1 · 10 ⁴	3 · 10 ²	1 · 10 ⁵

+ resistente 0 parzialmente resistente - non resistente

Fig. 4.43 – Catalogo Igus

Grandezza	Valore	Unità di misura
F	336.4	N
μ	0.12	
d	15	mm
C_{attriti}	0.15	Nm
$C_{t \text{ attriti}}$	1.8	Nm

Fig. 4.44 – Dati riassuntivi calcolo coppia resistente dovuta all’attrito su ogni cuscinetto

Quindi il valore della coppia motrice dovrà essere pari a:

$$C_m = \frac{C_r + C_{r_{\text{attrito}}}}{\mu}$$

μ è il rendimento di trasmissione assunto pari a 0.9

Considerando il caso peggiore, ossia 3 chip contemporaneamente sulle 3 coppie di assi, la coppia in uscita al riduttore dovrà essere pari ad almeno $C_m=7.7$ Nm. Si prenda in esame il motore asincrono trifase Bonfiglioli BN 63A 4 230/400-50 IP55 CLF B5 (Fig. 4.45), in grado di erogare una potenza di 0.08kWe con una velocità dell’albero motore in uscita è di 1350 giri/min, quindi:

$$\omega_{\text{motore}} = \frac{2 * \pi * n}{60}$$

$$\omega_{\text{motore}} = 141.4 \text{ rad/s.}$$

Come già accennato questa è una velocità eccessivamente alta, per cui andrà ridotta, a tal fine si prenda in analisi il riduttore a vite senza fine dell’omonima marca VF 49 P1 18 P63 B5 B3 (Fig. 4.46). Il rapporto di riduzione operato da questo prodotto è pari a $\eta = 18$, quindi la velocità angolare in uscita dal riduttore sarà:

$$\omega_{ridotta} = \frac{\omega_{motore}}{\tau}$$

$\omega_{ridotta} = 7.85$ rad/s, questo risultato è da considerarsi accettabile con le specifiche richieste dal progetto (Cap. 4.4). Quindi si calcoli la coppia disponibile al riduttore:

$$C_{ridotta} = \frac{P}{\omega_{ridotta}}$$

Si ottiene una $C_{ridotta}$ di circa 15.3 Nm, si può concludere affermando che la scelta motore-riduttore è compatibile con le esigenze della macchina. Si conclude calcolando il coefficiente di sicurezza:

$$X = \frac{C_m}{C_r}$$

Che risulta essere pari a 2, la progettazione è stata condotta in sufficiente sicurezza.



VF 49 - VFR 49

88 Nm

VF 49		i	η_s %	$n_1 = 2800 \text{ min}^{-1}$					$n_1 = 1400 \text{ min}^{-1}$							
				n_2 min ⁻¹	M_{n2} Nm	P_{n1} kW	R_{n1} N	R_{n2} N	η_d %	n_2 min ⁻¹	M_{n2} Nm	P_{n1} kW	R_{n1} N		R_{n2} N	η_d %
				400	41	2.0	400	950	88	200	54	1.3	400	1170	86	168
				280	44	1.5	400	1140	86	140	59	1.0	400	1410	84	
				200	49	1.2	400	1310	84	100	65	0.90	400	1630	81	
				156	44	0.87	400	1520	82	78	59	0.60	400	1890	78	
				117	47	0.73	400	1670	79	58	63	0.50	400	2110	75	
				100	56	0.78	400	1740	75	50	74	0.55	400	2170	71	
				78	52	0.59	400	1970	72	39	69	0.42	400	2460	67	
				62	49	0.46	400	2180	69	31	65	0.33	400	2725	63	
				47	44	0.34	400	2480	64	23.3	59	0.25	400	3100	58	
				40	41	0.28	400	2650	61	20.0	55	0.21	400	3150	54	
				35	41	0.25	400	2780	59	17.5	54	0.19	400	3150	52	
				28.0	37	0.20	400	3050	54	14.0	49	0.13	400	3150	47	
				$n_1 = 900 \text{ min}^{-1}$					$n_1 = 500 \text{ min}^{-1}$							
				129	61	0.97	400	1370	85	71	74	0.67	400	1670	83	168
				90	64	0.75	400	1670	82	50	74	0.49	400	2060	80	
				64	71	0.61	400	1920	78	36	78	0.39	400	2400	75	
				50	68	0.47	400	2190	75	27.8	74	0.30	400	2730	72	
				38	68	0.36	400	2480	71	20.8	74	0.24	400	3090	68	
				32	82	0.41	400	2540	67	17.9	88	0.26	400	3180	63	
				25.0	75	0.31	400	2880	63	13.9	80	0.20	400	3450	59	
				20.0	71	0.25	400	3190	59	11.1	78	0.17	400	3450	55	
				15.0	64	0.19	400	3300	53	8.3	69	0.12	400	3450	49	
				12.9	60	0.16	400	3300	50	7.1	69	0.11	400	3450	46	
				11.3	58	0.14	400	3300	47	6.3	59	0.09	400	3450	43	
				9.0	52	0.11	400	3300	42	5.0	59	0.08	400	3450	38	

95 Nm

VFR 49		i	η_s %	$n_1 = 2800 \text{ min}^{-1}$					$n_1 = 1400 \text{ min}^{-1}$							
				n_2 min ⁻¹	M_{n2} Nm	P_{n1} kW	R_{n1} N	R_{n2} N	η_d %	n_2 min ⁻¹	M_{n2} Nm	P_{n1} kW	R_{n1} N		R_{n2} N	η_d %
				67	71	0.65	230	1920	76	33	78	0.37	230	2500	74	169
				52	68	0.50	230	2180	74	25.9	74	0.28	230	2830	71	
				39	68	0.40	230	2470	70	19.4	74	0.22	230	3190	67	
				33	82	0.44	230	2520	66	16.6	88	0.25	230	3290	62	
				25.9	75	0.33	230	2860	62	12.9	80	0.19	230	3450	58	
				20.7	71	0.27	230	3160	58	10.3	88	0.18	230	3450	54	
				15.6	64	0.20	230	3300	52	7.7	69	0.12	230	3450	48	
				13.3	60	0.17	230	3300	49	6.6	69	0.11	230	3450	45	
				11.7	58	0.15	230	3300	46	5.8	59	0.09	230	3450	42	
				9.3	52	0.12	230	3300	41	4.7	59	0.08	230	3450	37	
				$n_1 = 900 \text{ min}^{-1}$					$n_1 = 500 \text{ min}^{-1}$							
				21.4	82	0.26	230	2960	72	11.9	90	0.16	230	3450	70	169
				16.7	79	0.20	230	3330	69	9.3	83	0.12	230	3450	67	
				12.5	79	0.16	230	3450	64	6.9	83	0.10	230	3450	62	
				10.7	91	0.17	230	3450	59	6.0	95	0.10	230	3450	57	
				8.3	84	0.13	230	3450	55	4.6	90	0.08	230	3450	52	
				6.7	82	0.11	230	3450	50	3.7	90	0.07	230	3450	48	
				5.0	75	0.09	230	3450	45	2.8	78	0.05	230	3450	42	
				4.3	75	0.08	230	3450	41	2.4	78	0.05	230	3450	39	
				3.8	64	0.06	230	3450	39	2.1	68	0.04	230	3450	36	
				3.0	63	0.06	230	3450	34	1.7	65	0.04	230	3450	32	

Fig. 4.46 – Catalogo Bonfiglioli riduttori a vite senza fine

4.5 Scelta delle boccole

In questo capitolo, una volta dedotte le forze che vengono scaricate su ogni boccola, verrà effettuato il dimensionamento delle stesse; è già stato accennato che i prodotti verranno scelti tra quelli della serie J della ditta Igus, le boccole saranno realizzate in materiale plastico. Per quanto già visto precedentemente la velocità di rotazione di ogni asse sarà di circa 7.9 rad/s, cioè circa 75 giri/min, mentre il carico radiale che graverà su ogni boccola, come già accennato, sarà pari a $F/2$. Per porci in una condizione di sicurezza, ricordando che F è pari a $F=336.4$ N, si considera:

$$F_b = \frac{F}{2} * X$$

Dove:

X è un coefficiente di sicurezza posto pari a 1.5

F_b è il carico radiale su ogni boccola [N]

Si ricava che il carico radiale è pari a circa 250 N. Ricordando che l'intera struttura dovrà trovarsi a lavorare ad una temperatura di -21°C , si utilizza il solutore offerto dalla Igus per determinare la durata delle boccole in ore:

Carico & ambiente		Movimento	
Massimo carico dinamico	<input type="text" value="250"/> N	Tempo di movimento puro all'ora [?]	<input type="text" value="60"/> 1/min
Temperatura ambiente massima [?]	<input type="text" value="-21"/> °C	Tipo di movimento	<input type="text" value="Rotatorio"/>
Materiale dell'albero	<input type="text" value="acciaio a bass"/>	Relazioni di movimento	<input type="text" value="Consecutivo"/>
Materiale del supporto	<input type="text" value="policarbonato"/>	Percentuale del movimento lineare	<input type="text" value="50"/> %
Massima usura ammissibile	<input type="text" value="0,25"/> mm	Giri/min.	<input type="text" value="75"/> 1/min

Accetto l'esclusione della responsabilità igus@.

Aiuto / Contatta Unità di misura: Metrico Pollici

La durata attesa ammonta a 3.002 ore.

Fig. 4.47 – determinazione durata boccole Igus JSM-1517-20

La durata si aggira attorno alle 3000 ore di funzionamento continuo. Considerando però che quello realizzato è un prototipo che quindi dovrà essere in funzione per un tempo limitato al fine di monitorare l'effettivo funzionamento della macchina e che è stato considerato un opportuno coefficiente di sicurezza, la durata indicata può considerarsi soddisfacente.

5 Nastro trasportatore

Altro oggetto della progettazione della linea produttiva su cui il candidato si è concentrato è il nastro trasportatore che verrà utilizzato per il trasporto del materiale composito nelle varie stazioni di lavoro che compongono la linea. Nei capitoli che seguono si analizzeranno le varie parti che compongono il prodotto, i dimensionamenti e le analisi effettuate.



Fig. 5.1 – Nastro trasportatore

5.1 Telaio

Il telaio di supporto è stato realizzato utilizzando profilati estrusi di alluminio, che vantano una notevole resistenza, ma consentono di contenere il peso dell'intera struttura. Inoltre anche in fase di installazione, e di eventuale manutenzione, essi sono caratterizzati da facile e veloce assemblaggio. Le varie parti della struttura sono tenute saldamente unite da viti e dadi con scanalatura a T. L'intero telaio poggia su dei piedini in gomma regolabili che consentono di modulare l'altezza del nastro trasportatore in funzione delle necessità. L'installazione delle staffe di regolazione è sempre finalizzata a garantire la massima

versatilità e usabilità del prodotto, consentendo insieme ai piedini gommati un range di regolazione del prodotto di circa 60 mm.



Fig. 5.2 – Telaio nastro trasportatore

5.2 Gruppo spalle

Questo è senza dubbio il cuore del nastro trasportatore, si compone di due piastre di spessore 15 mm che conferiscono robustezza alla struttura. Su questa struttura sono realizzate anche opportune fresature per realizzare gli alloggi dei rulli tensionatori. Le due spalle destra e sinistra sono unite tramite collegamento bullonato da delle nervature realizzate attraverso delle staffe a sezione rettangolare raccordate sugli spigoli rivolti lato nastro (Fig 5.3), per evitare l'usura prematura del tessuto durante lo scorrimento.

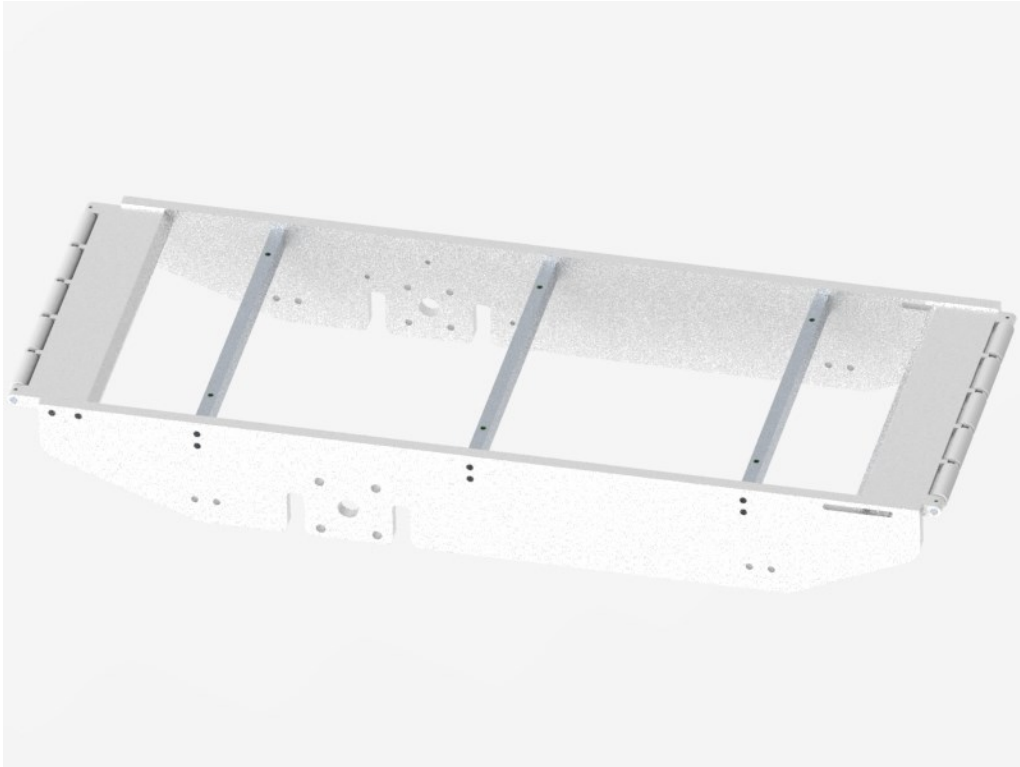


Fig. 5.3 – Gruppo spalle

Nell'immagine precedente sono ben visibili anche le due piastre di tensionamento, questi componenti sono costituiti da piastre di alluminio sulle quali sono installati dei rullini folli in plastica ABS, il diametro dei rulli è volutamente ridotto per consentire l'avvicinamento di due nastri adiacenti in una linea senza che ci sia rischio che chips di pre-preg, seppur di dimensioni ridotte, cadano a terra. Sulla sinistra in Fig. 5.3 possiamo vedere la piastra fissa, mentre sulla destra quella regolabile. Quest'ultima è in grado di traslare lungo la guida appositamente realizzata sulla spalla in modo da consentire il tensionamento del nastro una volta installato ed impedire quindi lo slittamento dello stesso sull'albero motore. Il bloccaggio della parte avviene attraverso una vite. Lo smusso visibile in Fig. 5.4 rappresenta un invito allo scorrimento del nastro, evitando una sua veloce usura.

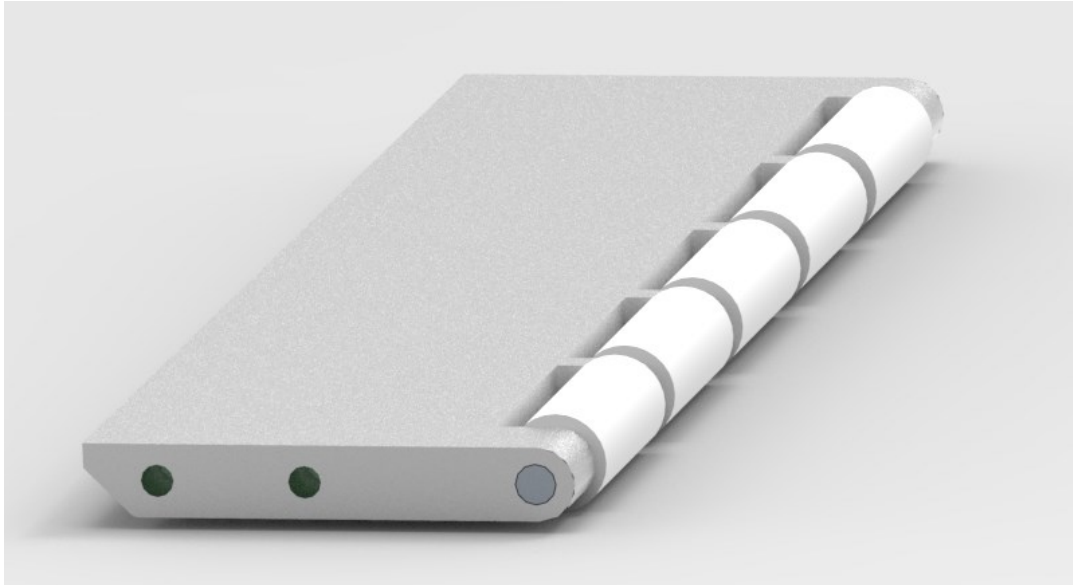


Fig. 5.4 – Piastra di tensionamento

A completare l'assieme viene posta una lamiera (Fig. 5.5) che poggiando sulle nervature conferisce sostegno al nastro. I fori di fissaggio della lamiera sono svasati per ospitare la testa della vite che altrimenti rappresenterebbe un ostacolo allo scorrimento del nastro. La lamiera viene infine piegata alle estremità per realizzare un invito al nastro nel suo movimento e prevenirne l'usura.

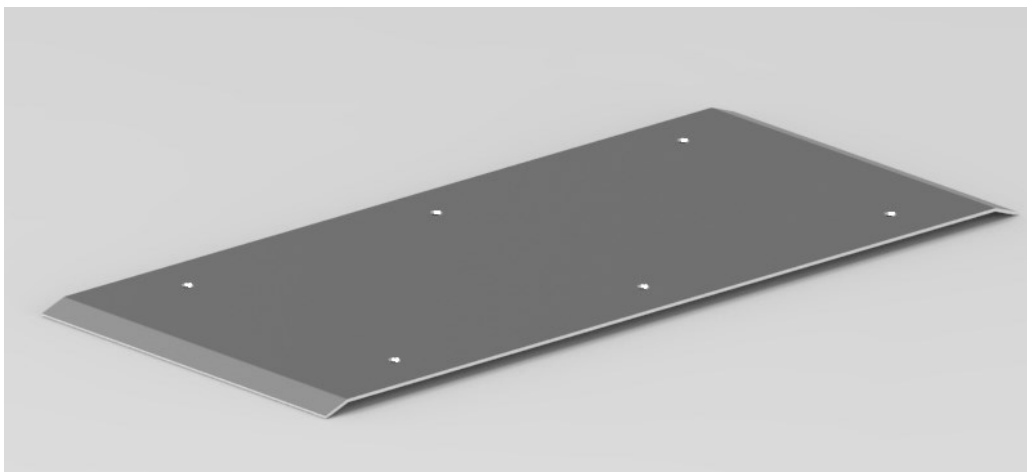


Fig. 5.5 – Lamiera sostegno nastro

5.3 Rulli di tensionamento

I rulli di tensionamento a differenza dell'albero motore non trasmettono coppia motrice, ma sono rulli folli calettati attraverso l'uso di cuscinetti radiali su alberi di acciaio.

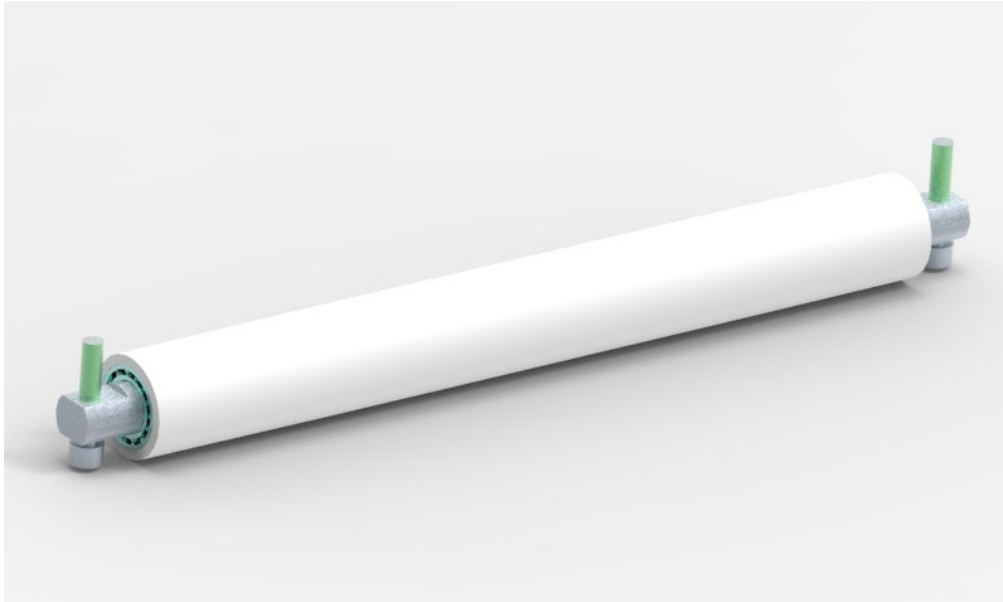


Fig. 5.6 – Rullo di tensionamento

Questi alberi vengono fissati alla spalla della struttura del nastro attraverso un'apposita vite di regolazione, la distanza di questi rulli dall'albero motore decide la tensione alla quale sarà sottoposto il nastro. La scelta della tensione da utilizzare per evitare lo slittamento del nastro dipende dal carico che lo stesso dovrà trasportare, nel caso preso in esame il peso delle chips è modesto, ma ci sono applicazioni in cui esso può essere davvero gravoso. I rulli folli sono realizzati in plastica ABS ad elevata resistenza, il che previene la loro usura, ed hanno la caratteristica forma a “schiena d'asino” di cui si è già parlato.

5.4 Scelta del nastro

Per la scelta del nastro è stata selezionato un prodotto Habasit, azienda di rilievo nel settore dei nastri utilizzati per il trasporto (da prodotti di origine alimentare a prodotti industriali). Vengono quindi definiti di seguito i passaggi che sono stati seguiti per la scelta del nastro. Si parte dalla definizione del carico che il nastro trasportatore dovrà portare, nel nostro caso

si para di pochi chili, quindi si entra nella tabella (Fig. 5.9) da sinistra nella colonna relativa ad un tamburo motore in acciaio con $m=30\text{kg}$ (considerando la linea dovrà avere una produzione oraria fissata a 25 kg/h , la massa di materiale composito che verrà depositata contemporaneamente sul nastro sarà di gran lunga inferiore). Quindi come indicato nella tabella si prosegue seguendo una linea orizzontale fino ad incrociare la retta che corrisponde alla larghezza del nastro (nel nostro caso $b_0=350\text{ mm}$). A questo punto si scende verticalmente dal punto di intersezione appena ricavato e si definisce un coefficiente di attrito desiderato (si ipotizza $0,25$). Di seguito si scende ancora una volta verticalmente fino ad incrociare il rapporto h_T/l_T (il rapporto tra l'altezza di elevazione del nastro e la lunghezza complessiva dello stesso) desiderato. Il nastro in questione dovrà operare orizzontalmente, quindi si considera come altezza di elevazione da raggiungere 0 mm , ne consegue che il rapporto h_T/l_T è nullo. Si termina la procedura di scelta del nastro proseguendo orizzontalmente dal punto di intersezione individuato fino ad incontrare la retta che indica la classe di sollecitazione del nastro. Se si è seguito correttamente il procedimento indicato si nota come l'unica retta intersecata è quella relativa alla classe di sollecitazione 2E e che la tensione di posa minima è pari ad $\varepsilon=0,4\%$.

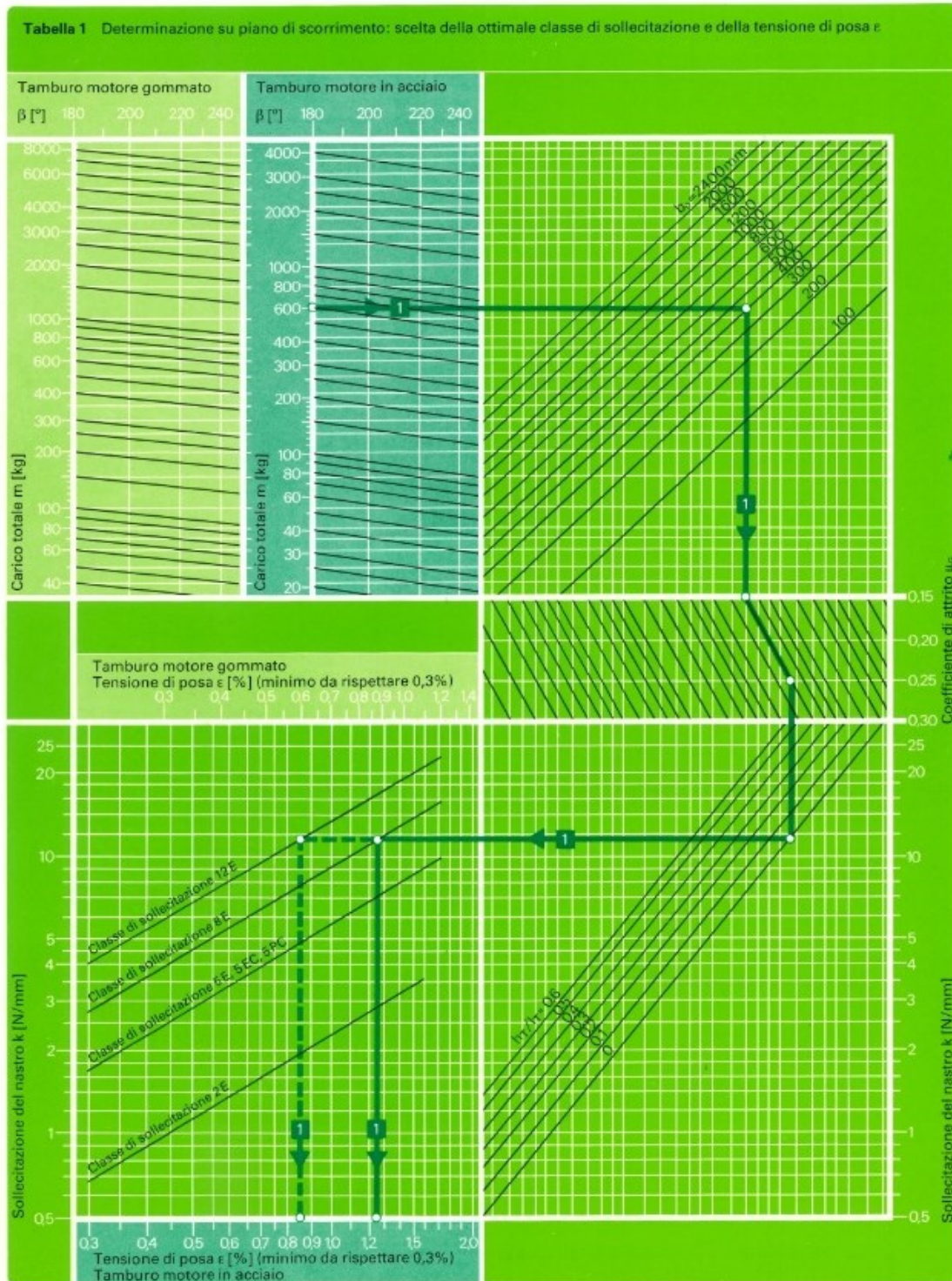


Fig. 5.7 – Determinazione della classe di sollecitazione del nastro

Determinate queste informazioni quindi si utilizza la tabella relativa alla gamma di fabbricazione per determinare il nastro necessario in maniera definitiva.

Gamma di fabbricazione e diagramma di determinazione, proprietà e dati tecnici

Determinazione delle classi ideali di sollecitazione e tensione di posa
 → pag. 12 e 13. Esempio per la determinazione → pag. 20 (pieghevole)
 legenda → pag. 21. Calcolo del nastro tipo SAB-18E secondo la formula
 → tab. 3, pag. 14.



9

Gamma di fabbricazione e diagramma di determinazione, proprietà e dati tecnici (continua)




10

Gruppo di prodotto, applicazioni	Sistema di trasporto	Copertura lato di trasporto	Top di nastro	Scorrimento su piano	Scorrimento su tutti di trasporto	Antistaticità permanente	RDH (USDA) (C - solo PDA)	Esempio di trazione, materiale	Materiale lato di trasporto	Lato di trasporto scorrevole	Lato di trasporto adalzo	Colori lato di trasporto	Materiale lato di scorrimento	Superficie lato di scorrimento	Colori lato di scorrimento	Giunzione Thermofix	Giunzione Flexproof	Giunzione meccanica (Alligator, Clasp, etc.)	Sensazione (mm)	Peso del nastro per metr.		
Nastri per trasporto standard Habasit per normali condizioni d'impiego	Orizzontale, con accumulatore o deviatore	Liscia	SNB-5E	■	■	■	■	-	PES	PVC	■	-	grigio ch.	PES	tessuto	biancastro	■	■	■	1,6	1,9	
			SNB-8E	■	■	■	■	-	PES	PVC	■	-	grigio ch.	PES	tessuto	biancastro	■	■	■	2,1	2,4	
	Inclinato e orizzontale	Liscia	SAB-5E	■	■	■	■	-	PES	PVC	■	-	grigio ch.	PES	tessuto	biancastro	■	■	■	1,6	1,9	
			SAB-12E	■	■	■	■	-	PES	PVC	■	-	grigio ch.	PES	tessuto	biancastro	■	■	■	2,1	2,4	
A nido d'aape	Liscia	SAB-18E	■	■	■	■	-	PES	PVC	■	-	grigio ch.	PES	tessuto strutturata	biancastro	■	■	■	2,5	2,8		
		SAG-12E	■	■	■	■	-	PES	EPDM	■	-	grigio ch.	PES	tessuto	biancastro	■	-	■	4,0	4,8		
Nastri per trasporto food Habasit per l'industria alimentare (chimica e farmaceutica)	Orizzontale, con accumulatore o deviatore	Liscia	FNB-2E	■	-	■	■	■	PES	PUR ¹⁾	■	-	bianco	PUR ¹⁾	tessuto impr.	biancastro	■	■	■	0,8	0,8	
			FNB-5E	■	■	■	■	■	PES	PUR ¹⁾	■	-	bianco	PUR ¹⁾	tessuto impr.	biancastro	■	■	■	1,3	1,4	
			FNB-8E	■	■	■	■	■	PES	PUR ¹⁾	■	-	bianco	PUR ¹⁾	tessuto impr.	biancastro	■	■	■	1,6	1,8	
	Orizzontale	Tessuto impregnato	Liscia	FNT-2E	■	-	■	■	■	PES	PUR ¹⁾	■	-	bianco	PUR ¹⁾	tessuto impr.	bianco	■	■	■	0,35	0,25
				FNT-12E	■	■	■	■	■	PES	PUR ¹⁾	■	-	biancastro	PUR ¹⁾	tessuto impr.	biancastro	■	■	■	1,6	1,6
	Inclinato e orizzontale	Liscia	Liscia	FNT-SPC	■	■	■	■	■	PA/CO	PES/CO	■	-	bianco	PA/CO	tessuto	bianco	■	■	■	1,35	1,1
				FNT-SEC	■	■	■	■	■	PES/CO	PES/CO	■	-	bianco	PES/CO	tessuto	bianco	■	■	■	1,8	1,4
				FAB-5E	■	■	■	■	■	PES	PUR ¹⁾	■	-	bianco	PUR ¹⁾	tessuto impr.	biancastro	■	■	■	1,3	1,4
				FAB-8E	■	■	■	■	■	PES	PUR ¹⁾	■	-	bianco	PUR ¹⁾	tessuto impr.	biancastro	■	■	■	1,6	1,9
				FAB-12E	■	■	■	■	■	PES	PUR ¹⁾	■	-	bianco	PUR ¹⁾	tessuto impr.	biancastro	■	■	■	2,5	2,8
Struttura a piramide negativa	Liscia	Liscia	FAW-5E	■	■	■	■	■	PES	PUR ¹⁾	■	-	bianco	PUR ¹⁾	tessuto impr.	biancastro	■	■	■	1,55	1,4	
			FAF-12E	■	■	■	■	■	PES	PUR ¹⁾	■	-	bianco	PUR ¹⁾	tessuto impr.	biancastro	■	■	■	4,5	3,7	
Altri nastri per trasporto Habasit	Nastri per trasporto ad alto rendimento Habasit → vd. manuali T26 o gamma di fabbricazione 2110 Nastri macchina Habasit, nastri per piegincolla → vd. manuali T25 o gamma di fabbricazione 2115 Conigli tonde Polycord → vd. manuale T260 Profili → vd. manuale 2270																					
Resistenza chimica → manuale T290	Nastri per trasporto standard Habasit: Resistenti all'umidità, secco, sporco, putrefazione, corpi solidi, molti agenti chimici. Non resistente a: soda caustica > 10%, acido cloridrico > 20%, acido solforico > 50%, principali solventi. Nastri per trasporto food Habasit: Resistenti all'umidità, secco, sporco, putrefazione, corpi solidi, molti agenti chimici e solventi, oli e grassi vegetali e animali. Non resistente a: soda caustica > 10%, acido cloridrico > 20%, acido solforico > 50%.																					
Sistemi e dispositivi di giunzione	Sistemi di giunzione Thermofix Habasit → manuale 2210, sistema di giunzione Flexproof → condizioni d'impiego 3640. Dispositivi di giunzione Habasit → manuale 3110.																					

Fig. 5.8 a – Gamma di fabbricazione e determinazione del prodotto

Gamma di fabbricazione e diagramma di determinazione, proprietà e dati tecnici (continua)


11

Spessore del nastro per metro quadrato mg ² [kg/m ²]	Diametro minimo del tamburo d _{min} [mm]	Sollecitazione per allungamento del 1% per unità di larghezza k _{1%} [N/mm]	Sollecitazione ammissibile per unità di larghezza k _{amm} [N/mm]	Resistenza alla rottura per unità di larghezza [N/mm]	Resistenza alla temperatura permanente [°C]	Resistenza alla temperatura momentanea [°C]	Coefficiente di attrito in acciaio μ _A	Coefficiente di attrito in gomma μ _G	Coefficiente di attrito con tamburo motore rimontato μ ₁	Coefficiente di attrito con tamburo motore rimontato in acciaio μ ₂	Coefficiente di attrito su piano di scorrimento in lamiera acciata μ ₃	Coefficiente di attrito su piano di scorrimento in lamiera acciata inox μ ₄	Coefficiente di attrito su piano di scorrimento in materiale sintetico μ ₅	Larghezza di produzione [mm]	Spiegazioni
1,9 2,4 2,8	25 40 80	5,0 8,0 12,0	9,5 15,0 25,0	75 100 175	-5/80 -5/80 -5/80	-20/100 -20/100 -20/100	0,15 0,15 0,15	0,35 0,35 0,35	0,2 0,2 0,2	0,15 0,15 0,15	0,25 0,25 0,25	0,3 0,3 0,3	2400 2400 2400		
1,9 2,4 2,8 4,8	25 40 60 100	5,0 8,0 12,0 18,0	9,5 15,0 25,0 35,0	75 100 175 240	-5/80 -5/80 -5/80 -5/80	-20/100 -20/100 -20/100 -20/100	0,15 0,15 0,15 0,5	0,35 0,35 0,35 0,6	0,2 0,2 0,2 -	0,15 0,15 0,15 -	0,25 0,25 0,25 -	0,3 0,3 0,3 -	2400 2400 2400 2400		
4,2	80	12,0	25,0	220	-30/100	-30/150	0,15	0,35	0,2	0,15	0,25	0,3	1200		
0,6 1,4 1,8	R 4 ²⁾ 20 25	2,0 5,0 8,0	3,5 9,5 15,0	60 85 110	-15/100 -15/100 -15/100	-20/110 -20/110 -20/110	0,15 0,15 0,15	0,35 0,35 0,35	0,2 0,2 0,2	0,15 0,15 0,15	0,25 0,25 0,25	0,3 0,3 0,3	2400 2400 2400		
0,25 1,6	R 3 ²⁾ 50	2,0 12,0	3,5 25,0	60 175	-20/80 -30/100	-30/100 -30/110	0,15 0,15	0,35 0,35	0,2 0,2	0,15 0,15	0,25 0,25	0,3 0,3	1200 2400		
1,1 1,4	R 4 ²⁾ R 4 ²⁾	5,0 5,0	9,5 9,5	130 140	-30/100 -30/100	-30/110 -30/110	0,15 0,15	0,35 0,35	0,25 0,25	0,25 0,25	0,25 0,25	0,3 0,3	2400 2400		
1,4 1,9 2,6	20 25 60	5,0 8,0 12,0	9,5 15,0 25,0	85 110 200	-30/100 -30/100 -30/100	-30/110 -30/110 -30/110	0,15 0,15 0,15	0,35 0,35 0,35	0,2 0,2 0,2	0,15 0,15 0,15	0,25 0,25 0,25	0,3 0,3 0,3	2400 2400 2400		
1,4	20	5,0	9,5	85	-30/100	-30/110	0,15	0,35	0,2	0,15	0,25	0,3	2400		
3,7	60	12,0	25,0	200	-30/80	-30/110	0,15	0,35	0,2	0,15	0,25	0,3	1200		

Tutti i valori indicati sono approssimati in condizioni normali ambientali (= 20°C, 65% umidità relativa).

CO = cotone

EPDM = elastomero (anche chiamato EPT)

PA = poliammide

PES = poliestere

PUR = poliuretano

PVC = cloruro di polivinile

impr. = impregnato

¹⁾ termoplastico

²⁾ raggio della penna

Fig. 5.8 b – Gamma di fabbricazione e determinazione del prodotto

Entrando in tabella categoria FNB-2E e scorrendo fino alla colonna relativa allo spessore del nastro, si nota come sia indicato s=0,6mm, valore ritenuto troppo basso, per questo motivo, considerando che il procedimento appena indicato consente di determinare la classe di sollecitazione minima necessaria, si decide di utilizzare la classe di sollecitazione appena superiore, quindi la scelta ricade su un nastro FNT-5PC che presenta uno spessore

$s=1,35\text{mm}$. Il nastro in esame è un nastro tessuto in poliammide di colore bianco caratteristica quest'ultima richiesta per aumentare il contrasto cromatico tra il nastro e le chips di pre-preg in modo da renderle visibili dal controllo di visione. Inoltre esso è in grado di resistere ad un range di temperature comprese tra $-30/80\text{ }^{\circ}\text{C}$, proprietà fondamentale in quanto l'intera linea dovrà essere posta ad una temperatura di -18°C . Si ricava inoltre che il coefficiente di attrito di questo nastro con il tamburo motore in acciaio è pari a $\mu=0,15$. Si riportano di seguito le specifiche tecniche del nastro scelto.

Nastri per alimenti FNT-5PC



Settore applicativo

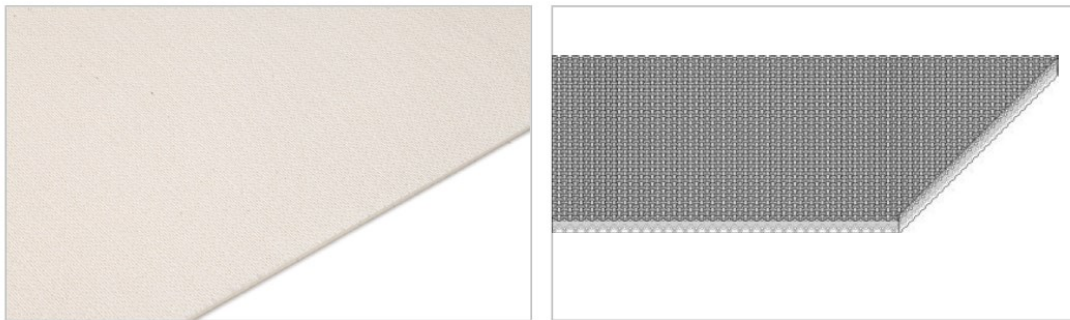
Forno (biscotti / dolci), Forno (pane), Pasticceria

Applicazioni

Nastro trasporto pasta, Nastro di trasporto e lavorazione per alimenti

Caratteristiche

Anti-aderenza



Proprietà nastro

Schema/disegno del prodotto	
Superficie di trasporto (materiale)	Tessuto di Poliammide (PA) Cotone (CO)
Superficie di trasporto (superficie)	Tessuto
Superficie di trasporto (proprietà)	Non adesivo
Superficie di trasporto (colore)	Bianco
Elemento di trazione (materiale)	Tessuto di Poliammide (PA) Cotone (CO)
Numero di tessuti	2
Superficie di scorrimento (materiale)	Tessuto di Poliammide (PA) Cotone (CO)
Superficie di scorrimento (superficie)	Tessuto
Superficie di scorrimento (proprietà)	Non adesivo
Superficie di scorrimento (colore)	Bianco

Caratteristiche del prodotto	
Con proprietà antistatiche	No
Adhesive free joining method	Sì
Antifiamma	Non specifiche proprietà di prevenzione alla fiamma
Idoneità Food (conforme FDA)	Si - in accordo a 21CFR parti 170-199. Per dettagli/restrizioni consultare i certificati Habasit di idoneità al contatto con alimenti.
Idoneità Food (corrispondenza alle raccomandazioni USDA)	Non destinato all'uso
Idoneità Food (conforme EU)	Si - in accordo con il Regolamento (CE) n. 1935/2004 e con il Regolamento (EU) n. 10/2011 e/o ulteriori rilevanti Regolamenti nazionali relativi al contatto diretto con alimenti. Per dettagli/restrizioni consultare i certificati Habasit di idoneità al contatto con alimenti.
Altre conformità / approvazioni	JFRL passed. Contact your Habasit representative for detailed information.

Scheda tecnica di prodotto (Da aggiornare) 17.01.2019

Fig. 5.9 a – Caratteristiche del nastro scelto

Dati tecnici		
Spessore	1.30 mm	0.05 pollice
Peso della cinghia piana	1.1 kg/m ²	0.225 lb/sqft
Carico di trazione per 1% di allungamento (k1% statico) per unità di larghezza (standard Habasit SOP3-155 / EN ISO 21181)	3.8 N/mm	22 lbf/in
Carico di trazione per 1% di allungamento dopo rilassamento (k1% ISO 21181/EN 1723) per unità di larghezza (standard Habasit SOP3-155)	1.2 N/mm	7 lbf/in
Temperatura min. di esercizio ammissibile (in continuo)	-30 °C	-22 °F
Temperatura max. di esercizio ammissibile (in continuo)	80 °C	176 °F
Coefficiente di attrito (lato di scorrimento / rullo motore in acciaio)	0.15 -	
Coefficiente di attrito (lato di scorrimento / rullo motore gommato)	0.35 -	
Coefficiente di attrito (lato di scorrimento / piano di scorrimento in acciaio decapato)	0.25 -	
Coefficiente di attrito (lato di scorrimento / piano di scorrimento in resina fenolica)	0.25 -	
Coefficiente di attrito (lato di scorrimento / piano di scorrimento in acciaio inossidabile)	0.15 -	
Larghezza di produzione	2400 mm	94.49 pollice

Fig. 5.9 b – Caratteristiche del nastro scelto

5.5 Dimensionamento del tamburo motore

Il tamburo motore ha la funzione di trasmettere la coppia al nastro trasportatore, esso è realizzato in acciaio e possiede una particolare conformazione detta “a schiena d’asino”.

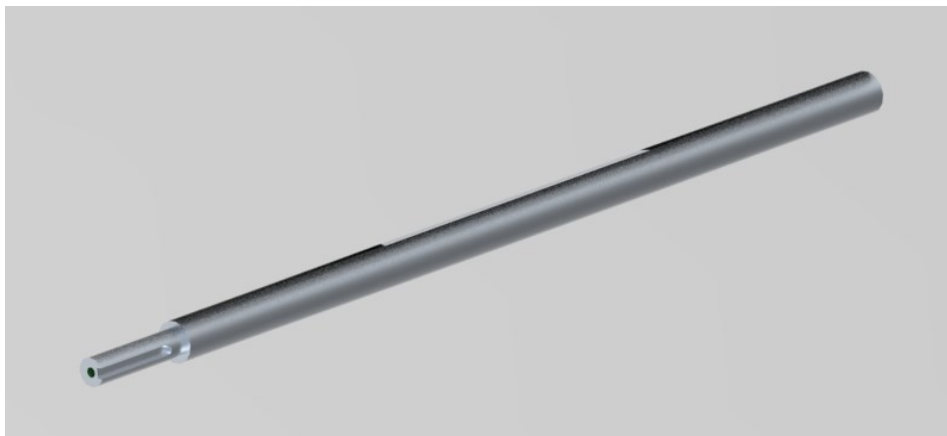


Fig. 5.10 – Albero motore

Per il dimensionamento del diametro del tamburo motore si è proceduto sempre seguendo il manuale guida di Habasit. Si prenda in considerazione la tabella 10 (Fig. 5.12).

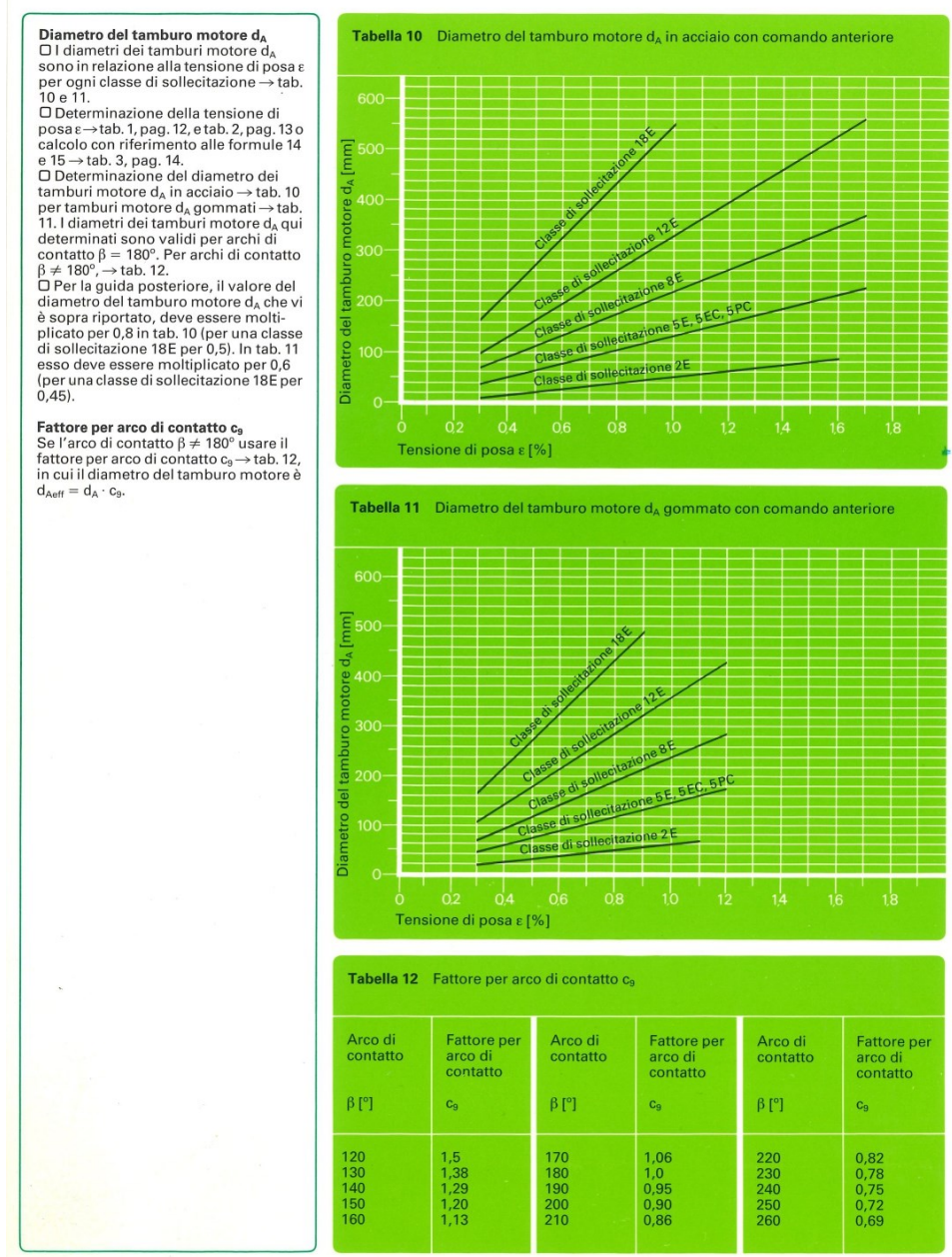


Fig. 5.11 – Scelta del diametro del tamburo motore in acciaio

Si nota come utilizzando un tamburo motore in acciaio si rende necessario un diametro di almeno ϕ 40mm. Sostanzialmente esso possiede una leggera conicità alle estremità

(apprezzabile in Fig. 5.7) che consente al nastro di rimanere centrato durante il suo movimento, evitando così che esso vada fuori asse ed inizi ad usurarsi lateralmente a causa del contatto con le spalle laterali. Per la realizzazione del profilo a “schiena d’asino” si è fatto riferimento alla tabella 13 (Fig. 5.12). Avendo definito precedentemente il diametro del tamburo come $\phi 40\text{mm}$, si entra nella riga riferita a diametri minori di 50mm, si nota come l’altezza della zona conica dovrà essere $h=0,25\text{mm}$. Imponendo una lunghezza del tamburo pari a 400mm, la zona centrale interessata da diametro costante sarà pari a:

$$bc = \frac{b_0}{2}$$

Quindi $bc=200\text{mm}$.

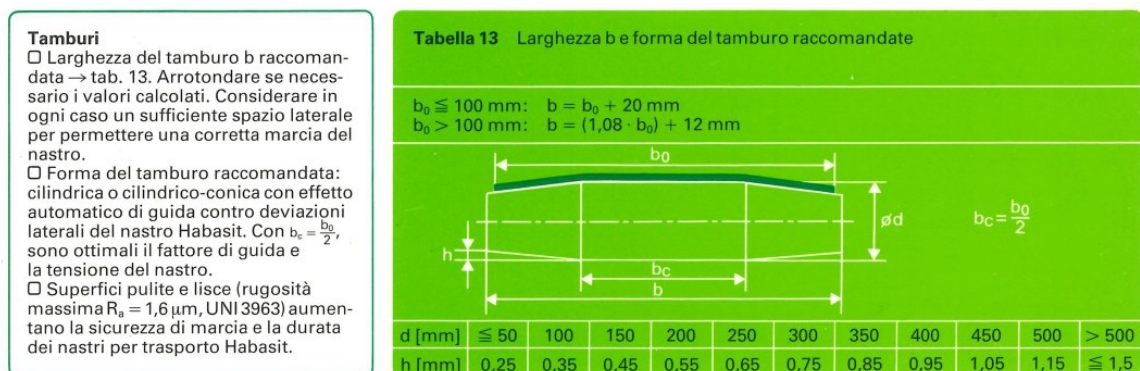


Fig. 5.12 – Determinazione parametri costruttivi tamburo motore

5.6 Analisi delle velocità

Per l’analisi della velocità del nastro è stato preso come punto di riferimento una velocità traslatoria di 15 m/min ritenuta congrua all’applicazione in esame. Per realizzare questa velocità tangenziale del nastro sarà necessaria una velocità angolare del rullo tamburo pari a:

$$\omega = \frac{v}{\frac{d}{2}}$$

Dove:

v rappresenta la velocità tangenziale del nastro [m/min]

d costituisce il diametro del tamburo motore [mm]

ω la velocità angolare del tamburo motore [rad/s]

Considerando la velocità v già indicata e un diametro del tamburo motore pari a 40 mm, la velocità angolare che si ottiene è pari a 12,5 rad/s, che convertita in giri/min ci restituisce circa 120 rpm. Quindi considerando che il motore avrà una velocità di circa 1300-1400 rpm, dovremo utilizzare un riduttore che possiede un rapporto di riduzione pari a $\eta=11$. In seguito, verranno analizzate le coppie necessarie alla movimentazione, quindi seguirà la scelta della combinazione motore-riduttore.

5.7 Scelta del motore e del riduttore

Per scegliere l'accoppiamento motore-riduttore è necessario conoscere la quantità di prodotto che il nastro trasportatore dovrà trasportare, non conoscendo l'esatta quantità si supponga che esso debba essere in grado di movimentare un carico massimo di 20 kg. Quindi supponendo un coefficiente di attrito di 0.15 tra nastro e lamiera di acciaio, si ottiene una forza di attrito di circa 40N. La coppia resistente dovuta all'attrito del nastro contro la lamiera a massimo carico sarà quindi modesta:

$$C_{attrito} = F_{attrito} * \frac{d}{2} * X$$

Dove

$F_{attrito}$ è la forza di attrito tra nastro e lamiera [N]

d è il diametro del tamburo motore [mm]

X è un coefficiente di sicurezza

La coppia resistente ammonta a circa 3 Nm. Quindi la potenza del motore sarà:

$$P = \frac{C * \omega}{\mu}$$

μ è il rendimento del motore

ω la velocità angolare del tamburo motore

La potenza del motore necessaria è di circa 0.04 kW. Si prenda in esame il motore asincrono trifase Bonfiglioli BN 56A 4 230/400-50 IP55 CLF B5 (Fig. 5.13) con una potenza di 0.06 kW, la velocità dell'albero motore in uscita è di 1340 giri/min, quindi:

$$\omega_{motore} = \frac{2 * \pi * n}{60}$$

$\omega_{motore} = 140.3$ rad/s.

Come già accennato questa è una velocità eccessivamente alta, per cui andrà ridotta, a tal fine si prenda in analisi il riduttore a vite senza fine dell'omonima marca VF 30 P1 19 P71 B5 B3. Il rapporto di riduzione necessario come già detto è pari $\eta = 11$, quindi la velocità angolare in uscita dal riduttore sarà:

$$\omega_{ridotta} = \frac{\omega_{motore}}{\tau}$$

$\omega_{ridotta} = 12.7$ rad/s, questo risultato è da considerarsi accettabile con le specifiche richieste dal progetto. Quindi si calcoli la coppia disponibile al riduttore:

$$C_{ridotta} = \frac{P}{\omega_{ridotta}}$$

Si ottiene una $C_{ridotta}$ di circa 4.7 Nm, si può concludere affermando che la scelta motore-riduttore è compatibile con le esigenze della macchina.

4P **1500 min⁻¹ - S1** **50 Hz**

P _n kW	n min ⁻¹	M _n Nm	IE1	η (100%) %	η (75%) %	η (50%) %	cosφ	I _n 400V A	I _s I _n	M _s M _n	M _a M _n	J _m x 10 ⁻⁴ kgm ²	IM B5 	d.c. brake						a.c. brake							
														FD			FA			FD			FA				
														Mod	Mb Nm	Z ₀ 1/h	J _m x 10 ⁻⁴ kgm ²	IM B5 	Mod	Mb Nm	Z ₀ 1/h	J _m x 10 ⁻⁴ kgm ²	IM B5 				
0.06	1340	0.43	○	46.8	44.2	41.3	0.65	0.28	2.6	2.3	2.0	1.5	3.1														
0.09	1350	0.64	○	51.7	47.6	42.9	0.60	0.42	2.6	2.5	2.4	1.5	3.1														
0.12	1350	0.85	○	59.8	56.2	47.0	0.62	0.47	2.6	1.9	1.8	2.0	3.5	FD 02	1.75	10000	13000	2.6	5.2	FA 02	1.75	13000	2.6	5.0			
0.18	1320	1.30	○	54.8	52.9	52.5	0.67	0.71	2.6	2.2	2.0	2.3	3.9	FD 02	3.5	10000	13000	3.0	5.6	FA 02	3.5	13000	3.0	5.4			
0.25	1340	1.78	○	65.3	65.0	57.9	0.69	0.80	2.7	2.1	1.9	3.3	5.1	FD 02	3.5	7600	10000	3.9	6.8	FA 02	3.5	10000	3.9	6.6			
0.25	1380	1.73	○	63.7	62.2	59.1	0.73	0.78	3.3	1.9	1.7	5.8	5.1	FD 03	3.5	7700	11000	6.9	7.8	FA 03	3.5	11000	6.9	7.5			
0.37	1370	2.6	○	66.8	66.7	63.0	0.76	1.05	3.7	2.0	1.9	6.9	5.9	FD 03	5	6000	9400	8.0	8.6	FA 03	5.0	9400	8.0	8.3			
0.55	1380	3.8	○	69.0	68.9	68.8	0.74	1.55	4.1	2.3	2.3	9.1	7.3	FD 03	7.5	4300	8700	10.2	10.0	FA 03	7.5	8700	10.2	9.7			
0.55	1390	3.8	○	72.0	71.3	69.7	0.77	1.43	4.1	2.3	2.0	15	8.2	FD 04	10	4100	8000	16.6	12.1	FA 04	10	8000	16.6	12.0			
0.75	1400	5.1	○	75.0	74.5	69.3	0.78	1.85	4.9	2.7	2.5	20	9.9	FD 04	15	4100	7800	22	13.8	FA 04	15	7800	22	13.7			
1.1	1400	7.5	●	75.5	76.2	70.4	0.78	2.7	5.1	2.8	2.5	25	11.3	FD 04	15	2600	5300	27	15.2	FA 04	15	5300	27	15.1			
1.1	1390	7.6	●	76.5	76.2	72.2	0.77	2.70	4.6	2.6	2.2	21	12.2	FD 14	15	4800	8000	23	16.4	FA 14	15	8000	23	16.3			
1.5	1410	10.2	●	78.7	78.5	74.9	0.77	3.6	5.3	2.8	2.4	28	13.6	FD 05	26	3400	6000	32	19.6	FA 05	26	6000	32	20.3			
1.85	1390	12.7	●	78.6	78.9	77.2	0.79	4.3	5.1	2.8	2.6	30	15.1	FD 05	26	3200	5900	34	21.1	FA 05	26	5900	34	21.8			
2.2	1410	14.9	●	81.1	81.4	79.9	0.75	5.2	4.5	2.2	2.0	40	18	FD 15	40	2600	4700	44	25	FA 15	40	4700	44	25			
3	1410	20	●	82.6	83.8	83.7	0.77	6.8	5.0	2.3	2.2	54	22	FD 15	40	2400	4400	58	28	FA 15	40	4400	58	29			
4	1430	27	●	84.4	84.2	81.6	0.81	8.4	5.6	2.7	2.5	98	30	FD 06S	60	—	1400	107	40	FA 06S	60	2100	107	42			
5.5	1440	36	●	84.7	84.8	82.5	0.81	11.6	5.5	2.3	2.2	213	44	FD 06	75	—	1050	223	57	FA 06	75	1200	223	58			
7.5	1440	50	●	86.0	86.3	85.3	0.81	15.5	5.7	2.5	2.4	270	53	FD 06	100	—	950	280	66	FA 07	100	1000	280	71			
9.2	1440	61	●	88.4	88.6	87.5	0.81	18.8	5.9	2.7	2.5	319	59	FD 07	150	—	900	342	75	FA 07	150	900	342	77			
11	1440	73	●	87.6	87.8	86.0	0.81	22.4	6.0	2.7	2.5	360	70	FD 07	150	—	850	382	86	FA 07	150	850	382	88			
15	1460	98	●	88.7	88.5	88.4	0.81	30	6.0	2.3	2.1	650	99	FD 08	200	—	750	725	129	FA 08	200	750	710	128			
18.5	1460	121	●	89.3	89.5	89.2	0.81	37	6.2	2.6	2.5	790	115	FD 08	250	—	700	865	145	FA 08	250	700	850	144			
22	1460	144	●	89.9	90.0	90.0	0.80	44	6.4	2.5	2.5	1250	135	FD 09	300	—	400	1450	175	FA 08	250	700	850	144			
30	1460	196	●	91.4	91.7	91.0	0.80	59	7.1	2.7	2.8	1650	157	FD 09	400	—	300	1850	197	FA 08	250	700	850	144			

○ = n.a. ● = IE1

BN



Fig. 5.13 – Catalogo Bonfiglioli motori asincroni trifase



22 SPEED REDUCER RATING CHARTS

VF 27

13 Nm

	i	η_s %	$n_1 = 2800 \text{ min}^{-1}$						$n_1 = 1400 \text{ min}^{-1}$								
			n_2 min ⁻¹	M_{n2} Nm	P_{n1} kW	R_{n1} N	R_{n2} N	η_d %	n_2 min ⁻¹	M_{n2} Nm	P_{n1} kW	R_{n1} N	R_{n2} N	η_d %			
VF 27	VF 27_7	7	67	400	7	0.34	—	330	86	200	9	0.23	35	410	83	167	
	VF 27_10	10	62	280	7	0.24	—	400	84	140	9	0.16	30	500	80		
	VF 27_15	15	54	187	7	0.17	—	480	79	93	9	0.12	—	600	75		
	VF 27_20	20	49	140	7	0.14	—	540	76	70	9	0.09	—	600	71		
	VF 27_30	30	38	93	7	0.10	—	600	69	47	9	0.07	—	600	62		
	VF 27_40	40	33	70	7	0.08	—	600	64	35	9	0.06	—	600	57		
	VF 27_60	60	26	47	7	0.06	—	600	56	23.3	9	0.04	—	600	49		
	VF 27_70	70	24	40	7	0.06	—	600	53	20.0	9	0.04	—	600	45		
				$n_1 = 900 \text{ min}^{-1}$						$n_1 = 500 \text{ min}^{-1}$							
	VF 27_7	7	67	129	10	0.17	90	480	81	71	11	0.11	90	600	79	167	
	VF 27_10	10	62	90	11	0.13	20	570	78	50	12	0.08	90	600	76		
	VF 27_15	15	54	60	11	0.09	—	600	72	33	12	0.06	90	600	69		
	VF 27_20	20	49	45	11	0.08	—	600	68	25.0	12	0.05	90	600	65		
	VF 27_30	30	38	30.0	11	0.06	—	600	59	16.7	13	0.04	—	600	55		
VF 27_40	40	33	22.5	11	0.05	—	600	54	12.5	13	0.04	—	600	50			
VF 27_60	60	26	15.0	11	0.04	—	600	45	8.3	12	0.02	—	600	41			
VF 27_70	70	24	12.9	10	0.03	—	600	42	7.1	11	0.02	—	600	38			

VF 30

24 Nm

	i	η_s %	$n_1 = 2800 \text{ min}^{-1}$						$n_1 = 1400 \text{ min}^{-1}$								
			n_2 min ⁻¹	M_{n2} Nm	P_{n1} kW	R_{n1} N	R_{n2} N	η_d %	n_2 min ⁻¹	M_{n2} Nm	P_{n1} kW	R_{n1} N	R_{n2} N	η_d %			
VF 30	VF 30_7	7	69	400	12	0.58	120	510	87	200	16	0.41	140	630	84	168	
	VF 30_10	10	64	280	12	0.41	70	620	85	140	16	0.30	80	770	81		
	VF 30_15	15	56	187	14	0.34	—	720	81	93	18	0.24	—	910	76		
	VF 30_20	20	51	140	14	0.26	—	820	78	70	18	0.19	—	1030	73		
	VF 30_30	30	41	93	15	0.21	—	960	71	47	20	0.15	—	1200	65		
	VF 30_40	40	36	70	14	0.16	—	1090	66	35	19	0.12	—	1360	60		
	VF 30_60	60	29	47	14	0.12	—	1270	59	23.3	19	0.09	—	1590	51		
	VF 30_70	70	26	40	11	0.08	—	1380	55	20.0	15	0.07	—	1600	48		
				$n_1 = 900 \text{ min}^{-1}$						$n_1 = 500 \text{ min}^{-1}$							
	VF 30_7	7	69	129	18	0.30	150	730	82	71	20	0.19	150	920	81	168	
	VF 30_10	10	64	90	18	0.22	150	900	79	50	20	0.14	150	1120	77		
	VF 30_15	15	56	60	20	0.17	—	1060	74	33	22	0.11	150	1320	71		
	VF 30_20	20	51	45	20	0.14	—	1200	70	25.0	22	0.09	150	1490	67		
	VF 30_30	30	41	30	22	0.12	—	1400	61	16.7	24	0.07	—	1700	58		
VF 30_40	40	36	23	20	0.09	—	1590	56	12.5	22	0.06	—	1700	53			
VF 30_60	60	29	15	20	0.07	—	1650	48	8.3	22	0.05	—	1700	44			
VF 30_70	70	26	13	17	0.05	—	1700	45	7.0	19	0.04	—	1700	41			

(-) Contact our technical service department advising radial load data (rotation direction, load angle, offset)

Fig. 5.14 – Catalogo Bonfiglioli riduttori a vite senza fine

6 Conclusioni

Questo capitolo è dedicato all'analisi dei risultati e alle conclusioni riguardo la progettazione e lo studio effettuato dal candidato. L'analisi sulla fase di pre-taglio da svolgere in sede Hp Composites ha prodotto risultati soddisfacenti indicando come l'introduzione di questo nuovo step successivamente all'operazione di taglio dei nesting comporti, sì un aumento dei costi da sostenere, ma anche un considerevole vantaggio dal punto di vista della processabilità degli sfridi per la linea destinata al loro riciclaggio. Dallo studio delle curve di variazione % di costo nel caso di nesting ad alta e a bassa efficienza (Fig. 6.1 e 6.2), si evince che il costo può essere minimizzato andando ad incrementare la velocità di avanzamento dell'utensile di un fattore $1.3 \leq f \leq 1.4$ nei tagli destinati al sezionamento dello sfrido. Aumento dei costi che si attesta ad essere circa pari al 132.4% nel caso dei nesting ad alta efficienza e al 154.6% nel caso dei nesting a bassa efficienza utilizzando in entrambi i casi una velocità di avanzamento dell'utensile di 2500 mm/min per il taglio del perimetro dei nesting e compresa tra 3250 mm/min e 3500 mm/min per la fase di sizing. Per quanto concerne il tempo necessario ad effettuare le operazioni di taglio inevitabilmente l'incremento di percorso che l'utensile dovrà eseguire determina un aumento dei tempi, che però, considerando il fattore di incremento f già citato, può essere ridotto ad un $159\% \leq \Delta T \leq 155\%$ per i nesting ad alta efficienza e ad un $259\% \leq \Delta T \leq 248\%$ per i nesting a bassa efficienza.

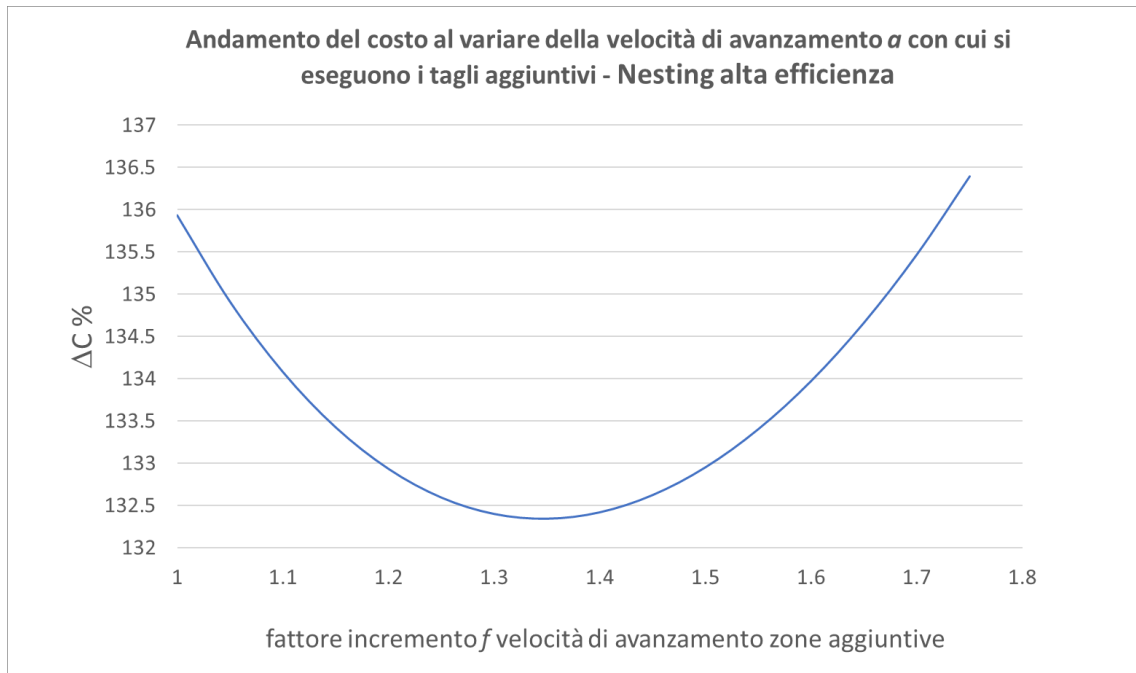


Fig. 6.1 – Aumento % costo di taglio in funzione del fattore di incremento f della velocità di avanzamento dell'utensile nel sezionamento dello sfrido rispetto a quelle del nesting – alta efficienza

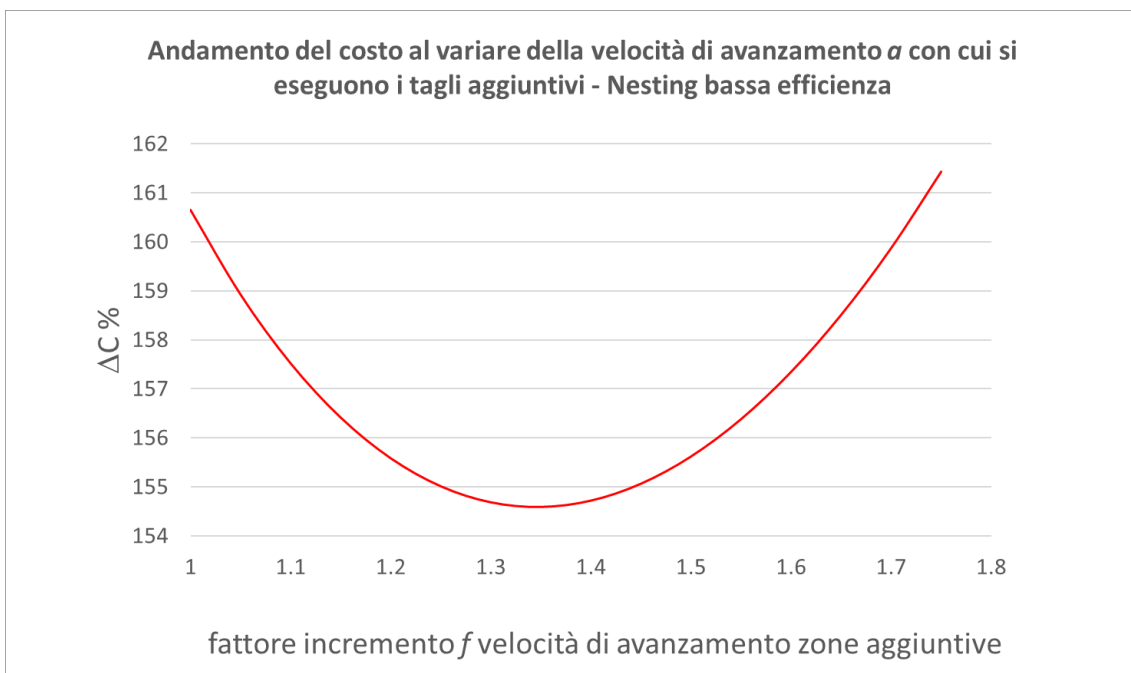


Fig. 6.2 – Aumento % costo di taglio in funzione del fattore di incremento f della velocità di avanzamento dell'utensile nel sezionamento dello sfrido rispetto a quelle del nesting – bassa efficienza

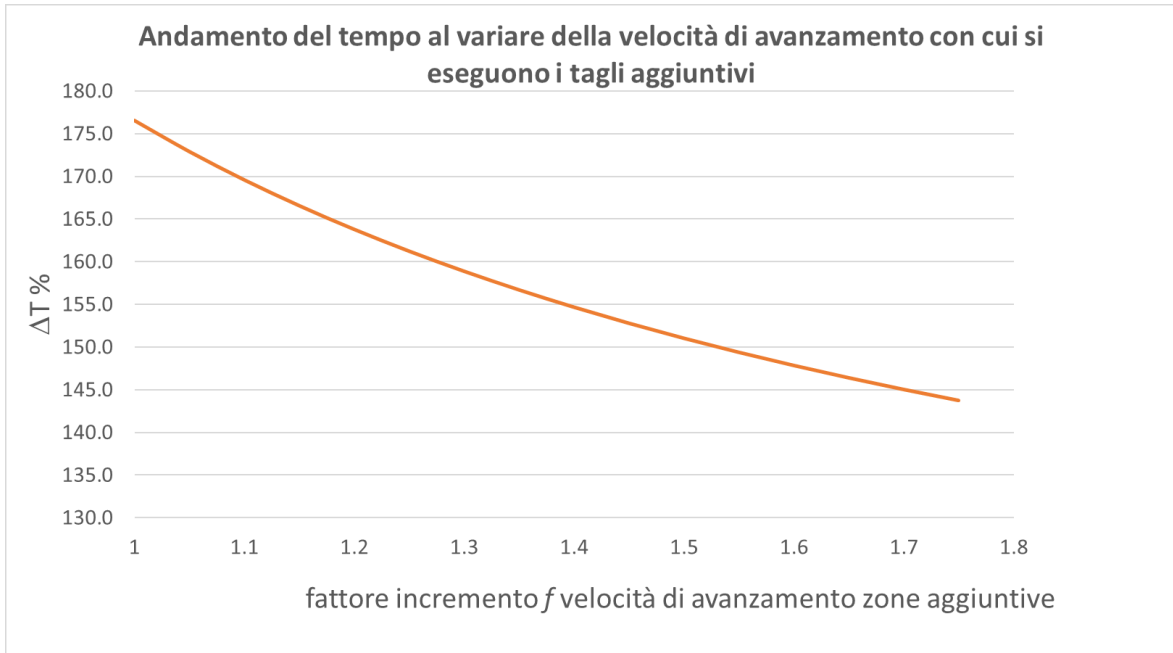


Fig. 6.3 – Aumento % tempo di taglio in funzione del fattore di incremento f della velocità di avanzamento dell'utensile nel sezionamento dello sfrido rispetto a quelle del nesting – alta efficienza

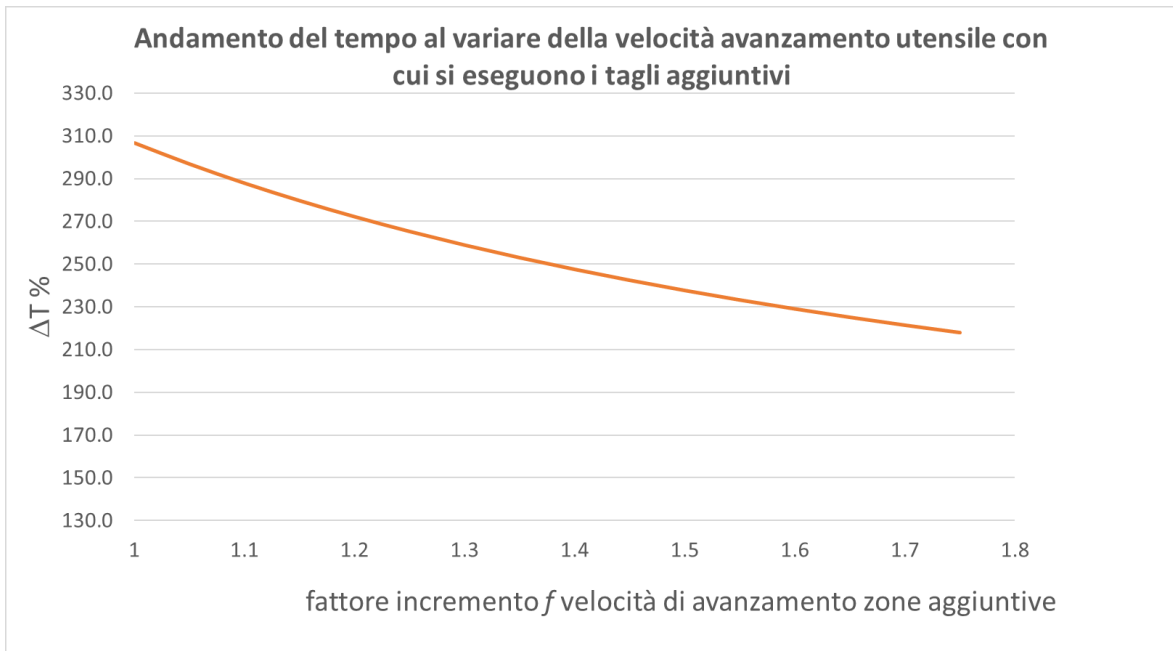


Fig. 6.4 – Aumento % tempo di taglio in funzione del fattore di incremento f della velocità di avanzamento dell'utensile nel sezionamento dello sfrido rispetto a quelle del nesting – bassa efficienza

Per quanto riguarda invece la macchina spellicolatrice il prototipo 3 sembra poter essere la soluzione definitiva, le analisi sulla produttività rivelano che la macchina è in grado di soddisfare abbondantemente i requisiti richiesti, infatti ad una velocità di rotazione dell'asse di 7.85 rad/s la macchina spellicolatrice è in grado di processare più di 25 kg/h di chips di materiale composito. Il successivo studio agli elementi finiti svolto sulla dinamica della flessione del materiale composito una volta entrato nella macchina ha consentito di determinare le forze in gioco nel processo e quindi di stimare le coppie resistenti. Per tenere conto della possibile variabilità della tipologia di materiale composito (spessore e composizione) che la macchina dovrà processare sono state simulate differenti resistenze alla flessione delle chips di pre-preg andando a modificare i parametri dei modelli iperelastici di Mooney Rivlin e Neo Hookean. Inoltre è stata considerata anche la regolazione della macchina relativamente all'interasse tra le ruote. La coppia assume come valore massimo $C_r=1.7$ Nm nel caso di interasse massimo (Fig. 6.5) e $C_r=1.4$ Nm nel caso di interasse minimo (Fig. 6.6). I risultati sono stati fondamentali per il dimensionamento del motore, scelto in modo da poter vincere con considerevole margine di sicurezza dette coppie più una coppia resistente dovuta agli attriti degli organi volventi. Considerando il caso peggiore, ossia 3 chip contemporaneamente sulle 3 coppie di assi è stato scelto il motore asincrono trifase Bonfiglioli BN 63A 4 230/400-50 IP55 CLF B5, in grado di erogare una potenza di 0.08kW e con una velocità dell'albero motore in uscita è di 1350 giri/min. Come già accennato questa è una velocità eccessivamente alta, per cui è stata ridotta abbinando il riduttore a vite senza fine dell'omonima marca VF 49 P1 18 P63 B5 B3. L'analisi FEM ha consentito inoltre di estrapolare la reazione vincolare che andrà a scaricarsi sui cuscinetti: la forza assume un valore massimo pari a $F_r=235.3$ N nel caso in cui l'interasse sia maggiore (Fig. 6.7), e un valore massimo di $F_r=336.4$ N nel caso di interasse minimo (Fig. 6.8). Questi dati sono stati

utilizzati per il dimensionamento delle boccole, la cui scelta è ricaduta su Igus JSM-1517-20.

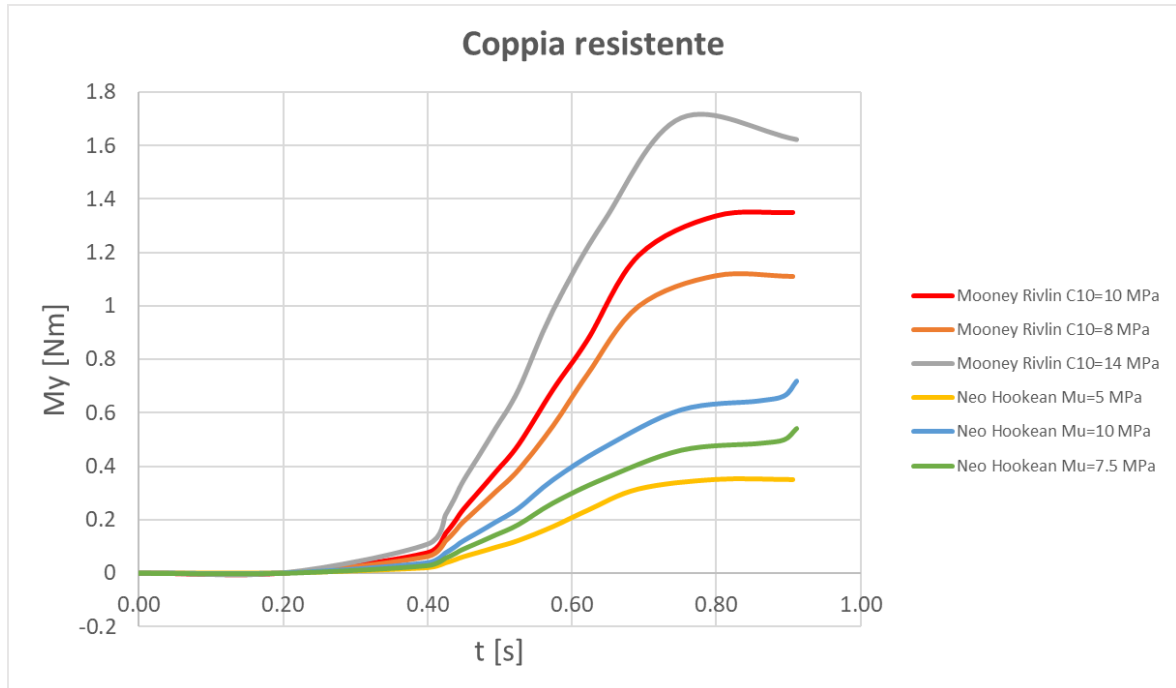


Fig. 6.5 – Andamento del momento flettente necessario a flettere la chip secondo il profilo del dente - interasse 35.8 mm

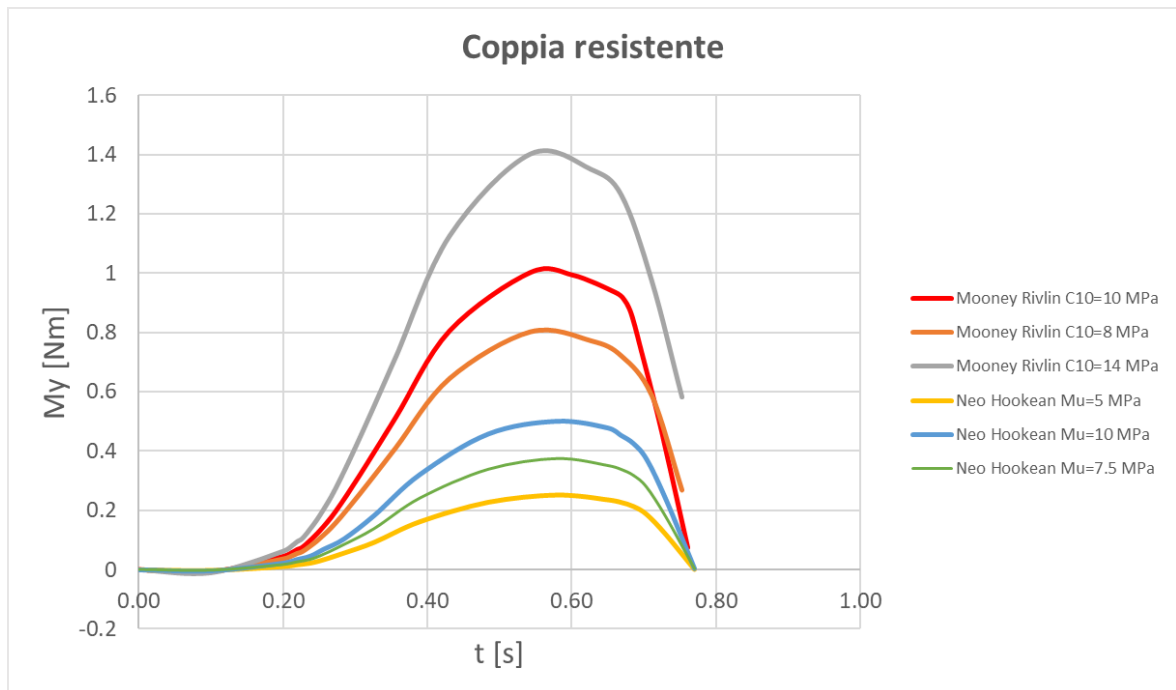


Fig. 6.6 – Andamento del momento flettente necessario a flettere la chip secondo il profilo del dente - interasse 34.3 mm

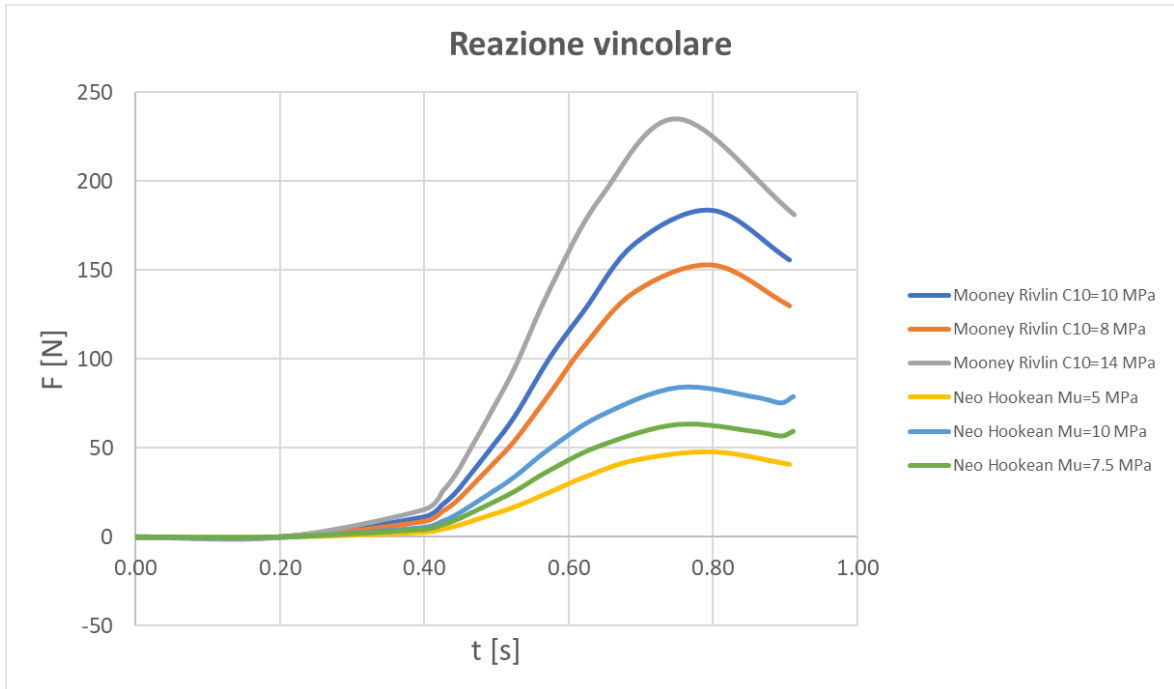


Fig. 6.7 – Andamento della forza necessaria a flettere la chip secondo il profilo del dente -
interasse 35.8 mm

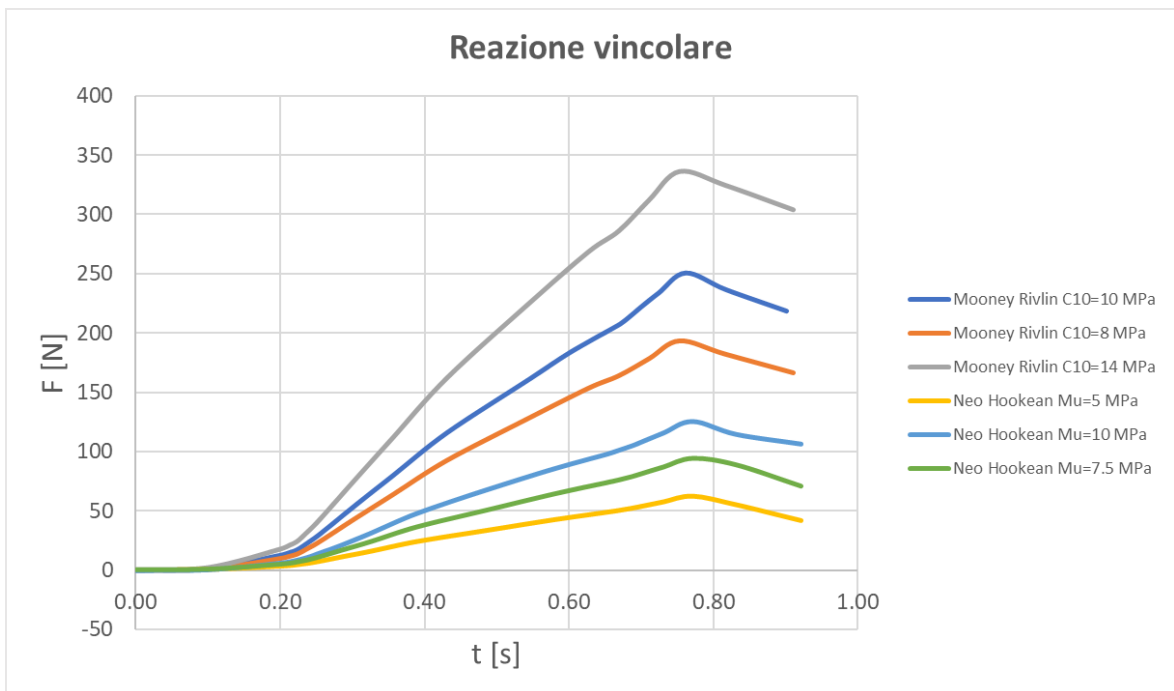


Fig. 6.8 – Andamento della forza necessaria a flettere la chip secondo il profilo del dente -
interasse 34.3 mm

Infine, per quanto riguarda il nastro trasportatore la soluzione adottata sembra essere compatibile con le esigenze del progetto. Il raggio di raccordo dei rullini condotti alle estremità è sufficientemente ridotto da consentire il trasporto di parti molto piccole (come nel caso analizzato in questo elaborato) senza che ci sia il rischio che esse cadano passando tra un organo trasportatore e il successivo. Il nastro sul quale poggia il prodotto è stato dimensionato sulla base delle specifiche richieste e in funzione della previsione di utilizzo, parametro non trascurabile è il colore dello stesso che è stato scelto in modo da rendere maggiore possibile il contrasto cromatico tra le chips e il nastro così da facilitarne il riconoscimento ad un controllo ottico. Per concludere per movimentare il nastro e vincere la coppia resistente dovuta agli attriti è stato scelto il motore asincrono trifase Bonfiglioli BN 56A 4 230/400-50 IP55 CLF B5 con una potenza di 0.06 kW, la velocità dell'albero motore in uscita è di 1340 giri/min. Come già accennato questa è una velocità eccessivamente alta, per cui è stata ridotta abbinando il riduttore a vite senza fine dell'omonima marca VF 30 P1 19 P71 B5 B3. In conclusione, possiamo quindi affermare che la progettazione eseguita ha prodotto risultati conformi alle specifiche richieste, volendo apportare migliorie al progetto potrebbe essere opportuno modificare la scelta dei materiali utilizzati per le ruote dentate elicoidali al momento realizzate in plastica ABS (scelta dettata dalla previsione del monte ore limitato per il quale il prototipo dovrà lavorare) e quindi soggette ad un'usura non trascurabile. Nell'ottica del progetto definitivo il materiale più idoneo potrebbe essere un acciaio che conferisca al pezzo maggiore durabilità e resistenza alle sollecitazioni previste. Stesso discorso vale per le boccole, un utilizzo consistente del macchinario richiederà certamente la sostituzione delle boccole attualmente in polimero, con boccole a cuscinetti lineari in grado di resistere alle velocità in gioco. Infine, una volta convalidato l'effettivo funzionamento del macchinario non sarà più necessaria una visibilità all'interno del macchinario da un osservatore esterno quindi si potrà optare anche per materiali differenti

per il telaio della struttura. Limiti principale del lexan sono la sua scarsa resistenza meccanica e all'usura, che certamente sono compatibili con la realizzazione di un prototipo, ma non adatte alla realizzazione di un macchinario definitivo. Una valida alternativa potrebbe essere l'alluminio.

7 Bibliografia

- R. MacNeil, "U.S. Composites Market Outlook for 2005 and Beyond," *Composites Manufacturing*, January, 16-29 (2005).
- A. H. Zureick, B. Shih, and E. Munley, "Fiber-Reinforced Polymeric Bridge Decks," *Structural Engineering Review*, 7, 257-266 (1995).
- M. Chajes, J. Gillespie, D. Mertz, and H. Shenton, "Advanced Composite Bridges in Delaware," *Proceedings of the Second International Conference on Composites in Infrastructure*, Tuscon, AZ, Vol. 1, 1998, pp. 645-650.
- P. Kumar, K. Chandrashekhara, and A. Nanni, "Testing and Evaluation of Components for a Composite Bridge Deck," *Journal of Reinforced Composites and Plastics*, 22, 441-461 (2003).
- P. Kumar, K. Chandrashekhara, and A. Nanni, "Structural Performance of a FRP Bridge Deck," *Construction and Building Materials*, 8, 35-47 (2004).
- Lawrence J. Broutman, Bhagwan D. Agarwal, K. Chandrashekhara "ANALYSIS AND PERFORMANCE OF FIBER COMPOSITES", THIRD EDITION (2015).
- Daniel Gay, Suong V. Hoa, Stephen W. Tsai, 'Composite Materials Design and Application', CRC Press, 2003 [
- Luigi Mascolo, 'Materiali per l'industria aeronautica'
- F. Grasso, C. Calabretta, 'I materiali compositi nei mezzi di trasporto'
- Dr. Faye Smith, 'The use of composites in Aerospace: Past, Present and Future challenges' www.aerosociety.com
- MIL-HDBK-17 – 'Composite Materials Handbook', 2002
- Guy Hellard, 'Composites in Airbus A long story of innovations and experiences'

8 Ringraziamenti

Vorrei dedicare questo spazio a chi, con dedizione e pazienza, ha contribuito alla realizzazione di questo elaborato. Un ringraziamento particolare va al mio relatore Prof. Palpacelli Matteo Claudio che mi ha seguito, con la sua infinita disponibilità, in ogni step della realizzazione dell'elaborato, fin dalla scelta dell'argomento. Grazie ai miei due correlatori Ing. Alessi Valerio che mi ha concesso di svolgere il tirocinio in Alci srl e mi ha sempre sostenuto e Ing. Specchi Roberto che mi ha costantemente supportato dal punto di vista tecnico con preziosi consigli. Ringrazio infinitamente mia madre e mio padre, senza i loro insegnamenti e senza il loro supporto, questo lavoro di tesi non esisterebbe nemmeno. Grazie a tutti i miei colleghi di corso, per avermi sempre incoraggiato fin dall'inizio del percorso universitario.